



# Anales de Química

La revista de la Real Sociedad Española de Química

segunda época



## TE NECESITA

[www.rseq.org/anales](http://www.rseq.org/anales)

volumen 111

número 3

julio-septiembre 2015

Entrevista Mariola Tortosa  
De Woodward a Whitesides Julio Delgado  
Percy Julian o el sueño americano David Sucunza

**RSEQ**  
Real Sociedad Española de Química  
El Sitio de la Química en España

## Entidades colaboradoras



## Socios Corporativos

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

# Anales de Química

## Revista de la Real Sociedad Española de Química

### Editor General

Miguel Ángel Sierra  
*Universidad Complutense de Madrid*

### Comité Editorial

Fernando P. Cossío  
*Universidad del País Vasco Ikerbasque*

Juan José Lucena  
*Universidad Autónoma de Madrid*

Sonsoles Martín Santamaría  
*Centro de Investigaciones Biológicas del CSIC*

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

Mariona Sodupe i Roure  
*Universidad Autónoma de Barcelona*

Carmen Redondo  
*Colegio Estudio*

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

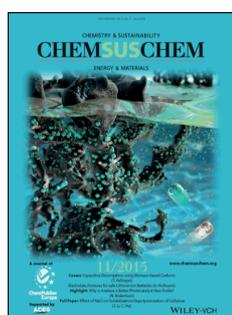
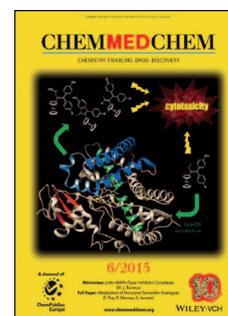
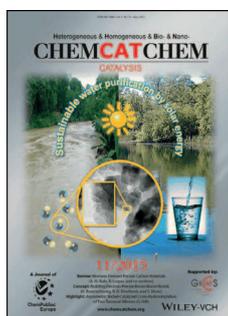
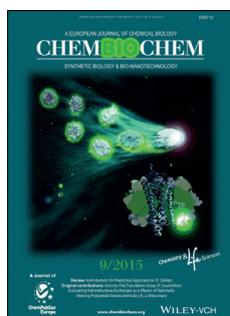
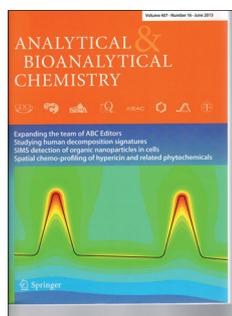
### Secretaría Editorial

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

Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense Ciudad Universitaria.  
28040 Madrid  
Tel (+34) 913 944 356. Fax (+34) 915 433 879



## Revistas patrocinadas por la Real Sociedad Española de Química



*Anales de Química*  
Volumen 111 • Número 3 • Segunda época  
julio-septiembre 2015

Sumario



<b>Editorial</b> .....	142
<i>Miguel Ángel Sierra</i>	
<b>Carta del Presidente</b> .....	143
<i>Jesús Jiménez Barbero</i>	
<b>Opinión</b>	
Acceso abierto para las Publicaciones Científicas: otra vuelta de tuerca por Pedro J. Pérez .....	144
<b>Entrevista Mariola Tortosa</b> .....	146
<i>Sonsoles Martín Santamaría y Miguel Ángel Sierra</i>	
<b>La Química española vista por sus protagonistas</b>	
De Woodward a Whitesides .....	153
<i>Julio Delgado Martín</i>	
<b>Historia de la Química</b>	
Percy Julian o el sueño americano .....	161
<i>David Sucunza Sáenz</i>	
<b>Divulgación de la Química</b>	
Luz Fría: ¿una bombilla dentro de la nevera? .....	166
<i>Pilar Amo-Ochoa</i>	
<b>Enseñanza en el aula</b>	
El reactivo de Tollens: de la identificación de aldehídos a su uso en nanotecnología. Aspectos históricos y aplicaciones didácticas .....	173
<i>Gabriel Pinto, Manuela Martín, José María Hernández, María Teresa Martín</i>	
El modelo atómico de la materia en la formación científica del profesorado de las primeras etapas educativas .....	181
<i>Esteban Moreno Gómez</i>	
<b>Noticias de la RSEQ</b> .....	188
<b>Reseñas de libros</b> .....	194

Composición y producción:

Moisés Fernández  
Edinnova Taller Editorial

Miguel Ángel Sierra

Creo que la portada no necesita demasiadas explicaciones. Sin vosotros, los lectores, los que contribuís con vuestros artículos y vuestras opiniones, los que revisáis artículos, *Anales de Química* no es más que un pdf en la página web de la revista o de la RSEQ. Creo que a lo largo de estos seis números, desde que la revista pasó de su edición impresa a su edición electrónica, *Anales de Química* ha cambiado, no solo en su soporte sino también en su línea editorial (para mejor o para peor, no me corresponde a mí decirlo) y se ha hecho homogénea en su forma. Por ello, como editor estoy satisfecho. Sin embargo, por mucho que tanto los editores asociados como el que suscribe lo intentemos, no hay forma de que *Anales de Química* se transforme en una publicación fluida. Fluida en el sentido de que sea un foro en el que los socios de la RSEQ expresen sus intereses, den a conocer sus áreas de conocimiento a la comunidad química hispanoparlante, y utilicen la revista como un vehículo para expresar sus inquietudes, opiniones y quejas.

Después de reflexionar un rato he llegado a una conclusión que no me gusta lo más mínimo: la Química española, como decía Juan Goytisolo hace unos años en otro contexto, sigue siendo garbancera. Tengo que decir que el apelativo viene de mucho más atrás y que Galdós fue el primero en recibir ese calificativo por parte de sus coetáneos. Además, la frase no es mía sino de un colega y amigo por quien siento el más profundo respeto, y que no se caracteriza por expresar opiniones sin fundamento. Que nadie se ofenda, por favor.

Me explico. Entiendo que recibir una invitación de *Anales de Química* para publicar un artículo no hace que la tierra tiemble bajo tus pies al experimentar la felicidad más absoluta (esto tampoco es mío, es de Hemingway). Sobre todo si tenemos en cuenta que, en medio de la vorágine de “internacionalización” que sufrimos, un artículo en *Anales de Química* luce más bien poco en un currículum.

Esto es parte de nuestro carácter peculiar y de una Ciencia con complejos. ¿Os imagináis a un investigador inglés, norteamericano o alemán (por no mencionar a los franceses y su *francophonie*) diciendo que un investigador tiene que “internacionalizarse”? Esta idea restrictiva de internacionalización puede resultar chocante e incluso ofensiva para nuestros colegas hispanohablantes del otro lado del Atlántico.

Recibir una invitación para publicar en *Anales de Química*, no es recibir una invitación de *Nature* ni de *Science*, obviamente, ni pretende serlo. Pero no deja de ser, en mi opinión, importante.

No soy, ni mucho menos, un defensor a ultranza del uso del español en Ciencia. Todo lo contrario, el inglés es –y hasta donde podemos predecir, será– la lengua franca



de la Ciencia para los próximos 50 años (si los chinos no deciden lo contrario). Como tal hay que aceptarlo y nuestros jóvenes estudiantes, profesionales e investigadores deben formarse con un nivel de inglés lo más alto posible. Es penoso balbucear en un inglés “patatero” por congresos, conferencias y otros lugares. Afortunadamente, esto está cambiando y las nuevas generaciones lo hacen mucho mejor. Pero eso no significa que debamos abandonar la posibilidad de hablar de Química en castellano y para eso –entre otras cosas– está *Anales de Química*.

Otra faceta propia de un país con complejos es usar el bar o el despacho del colega de al lado para quejarse de lo divino y lo humano. La verdad es que esto desahoga pero vale para bastante poco. En lo que respecta a la Química tenéis *Anales de Química* como foro de opinión y de debate. Las ideas y las opiniones expresadas por un colega en *Anales de Química* te podrán gustar más o menos, pero lo que es seguro es que nos enriquecerán a todos.

Nunca me ha gustado pontificar y eso es lo que ha pasado en este Editorial. Pido disculpas por la soflama. *Anales de Química* os necesita a todos para avanzar y pasar a ser, realmente, la voz de la Química española. La cuestión que siempre se plantea: ¿Quién habla por la Química? tiene en este caso una respuesta fácil. Basta con que queramos encontrarla. Un amigo me espetó hace muchos años (quito las palabras gruesas): ¿Por qué... no dejas de quejarte y... y te pones de una... vez a hacer algo? Lo dejo sobre la mesa y pido perdón por el sermón. Vosotros decidís si queremos decir “estoy orgulloso de ser Químico” además (no en lugar) de “I’m proud to be a Chemist”.

Gracias por leer.

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

Jesús Jiménez Barbero

Queridos compañeros.

Tras el éxito de la pasada Bienal y el final del verano, la mayoría de nosotros estamos de nuevo inmersos en nuestras tareas docentes, investigadoras, empresariales, de gestión, etc.

Desde la RSEQ, seguimos trabajando en intentar mejorar nuestra visibilidad, nuestra internacionalización, nuestra presencia en distintos foros y en conseguir atraer a nuestra Sociedad a todos los químicos y los “no químicos” que trabajan en temas relacionados con la Química. Gracias a todos por vuestro esfuerzo en este sentido.

Uno de los recursos que tenemos para conseguir nuevos Socios son las actividades de los Grupos Especializados y Secciones Territoriales. En la próxima Junta de Gobierno abriremos el período para que los GE y las ST soliciten subvenciones para los eventos que organicen durante 2016. La mayoría de los GE celebran sus reuniones Bienales en los años pares, para no coincidir con nuestra Reunión Bienal. El éxito de estas reuniones se sucede año tras año. Las ST celebran diversas actividades divulgativas y educativas para el público en general. Estas actividades son muy importantes para acercar la Química a la Sociedad. Os animo a participar en ellas.

Por otra parte, en el apartado de internacionalización de nuestra investigación, nuestra presencia en el consorcio de revistas *ChemPubSoc Europe* (Wiley VCH), así como en *Phys Chem Chem Phys* (RSC) y *Anal Bioanal Chem* (Springer) genera visibilidad y recursos a nuestra RSEQ. He de destacar aquí la visión del Presidente Luis Oro y de su Junta Directiva cuando decidieron impulsar nuestra participación en este consorcio.

En otras ocasiones ya he mencionado este hecho. Hoy lo hago una vez más. Por supuesto, cada investigador decide dónde publicar sus resultados. Cuanta más difusión e impacto tengan sus resultados, mejor. No obstante, en el caso de que vuestros resultados no se consigan publicar en las revistas del impacto científico más elevado, que todos conocemos, y que no voy a mencionar aquí, me gustaría pedirlos que consideraseis la publicación en las revistas integradas en *ChemPubSoc Europe*, como *Chem Eur J*, *Eur J*



© 2015 Real Sociedad Española de Química

*Org Chem*, *Eur J Inorg Chem*, *ChemBioChem*, *ChemMedChem*, *ChemSusChem*, *ChemElectroChem* y *ChemCatChem*, y en *Phys Chem Chem Phys* y *Anal Bioanal Chem*. Las publicaciones de vuestros artículos de investigación y revisiones en estas revistas generan recursos a nuestra RSEQ, que se utilizan para organizar y apoyar las distintas actividades de nuestros GE y ST.

Como os anuncié en mi última carta, la química española ha vuelto a ser aceptada en la IUPAC. Hemos hecho un esfuerzo económico importante para conseguirlo. La iniciativa ha contado también con el apoyo económico de FEIQUE, el ICIQ y el ITQ (CSIC-UPV). Esperamos que este esfuerzo sea beneficioso para nuestra RSEQ.

Muchas gracias,

JESÚS JIMÉNEZ BARBERO  
Presidente de la Real Sociedad Española de Química

# Acceso Abierto para las Publicaciones Científicas: otra vuelta de tuerca

Pedro J. Pérez

En el anterior número de *Anales de Química*, bajo el título de “Acceso Abierto (*Open Access*) para las Publicaciones Científicas: quién, cuándo y cómo”, se explicaba la normativa existente en nuestro país, así como en las convocatorias de origen europeo respecto a la necesidad/obligatoriedad de dar acceso a las publicaciones que emanen de los trabajos financiados por entes públicos como el MINECO o la UE, entre otros. De manera general, el método más cómodo y, sobre todo, menos perjudicial para las no muy elevadas cantidades de las que disponen los equipos de investigación, era el Acceso Abierto Verde o *Green Open Access*, que permite colocar una versión del artículo en un repositorio institucional una vez transcurra un año desde su publicación. Este plazo anual era coincidente tanto para el organismo financiador (MINECO) como para la mayoría de las revistas, que lo establece como período de embargo a tal efecto. Tan sólo en los programas europeos derivados de la estrategia H2020 se requiere que ese período sea de no más de seis meses, lo que obliga necesariamente al uso del *Golden Open Access*, esto es, a pagar para que dicha publicación quede accesible.

El objeto de la presente contribución es hacer llegar al lector la existencia de un cambio dramático en la normativa vigente. A los pocos días de publicarse el artículo anterior tuvo lugar la publicación de la convocatoria para el año 2015 del procedimiento de concesión de ayudas correspondientes al Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación (*BOE*, 23 de junio). En la misma, y como continuación de lo ya comentado anteriormente, se establece la necesidad de la publicación en acceso abierto. En concreto, el Artículo 6 señala lo siguiente:

1. Los beneficiarios deberán cumplir las obligaciones establecidas en el artículo 14 de la Ley 38/2003, de

17 de noviembre, así como las condiciones específicas establecidas en las bases reguladoras, y en las disposiciones específicas de desarrollo contenidas en la presente resolución.

2. Cuando los resultados no sean susceptibles de protección de derechos de propiedad industrial o intelectual, las publicaciones científicas resultantes de la financiación otorgada al amparo de la presente convocatoria deberán estar disponibles en acceso abierto, de acuerdo con el artículo 37 de la Ley 14/2011, de 1 de junio. A tales efectos, los autores podrán, con la mayor brevedad posible, optar por publicar en revistas de acceso abierto o bien por autoarchivar en repositorios institucionales o temáticos de acceso abierto, recogidos en la plataforma Recolecta de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) u otros repositorios promovidos por las propias instituciones, los trabajos científicos que hayan sido aceptados para su publicación en publicaciones seriadas o periódicas. **La publicación se producirá en un plazo no superior a los seis meses tras su publicación comercial, salvo en el área de Humanidades y Ciencias Sociales, donde el plazo establecido no será superior a un año.**

Por lo tanto, en esta convocatoria ya se ha establecido que el marco temporal máximo sea idéntico al de las ayudas en el marco del Programa Europeo H2020, ya comentado. Este matiz es extraordinariamente importante pues obliga, de manera ineludible, a tener los artículos en acceso abierto a los seis meses de producirse su publicación. Dado que la mayoría, por no decir todas las editoriales del ámbito químico presentan un embargo de doce meses<sup>1</sup>, no queda otra opción disponible más que la opción de pago como única vía para cumplir con este requisito de la convocatoria. Si bien cabe señalar que la misma recoge dichos pagos a las editoriales como gastos elegibles dentro de las solicitudes, es más que probable



P. J. Pérez

Centro de Investigación en Química Sostenible (CIQSO)  
y Departamento de Química. Campus de El Carmen  
Universidad de Huelva  
21007-Huelva  
C-e: perez@uhu.es

Recibido: 30/08/2015. Aceptado: 03/09/2015.

<sup>1</sup> El Sistema SHERPA-RoMEO forma parte de los Servicios SHERPA, con sede en la Universidad de Nottingham y permite consultar en línea la política de cada revista sobre el Acceso Abierto. Su uso es muy sencillo y puede encontrarse en la dirección web <http://www.sherpa.ac.uk/romeo/index.php?la=es&fIDnum=&mode=simple>

que los mismos vayan en detrimento de otras partidas del presupuesto. En definitiva, esta acción, que probablemente se deba a una necesidad de cumplir con normativas europeas que regulan gran parte de los fondos destinados al Plan Estatal de I+D, va a suponer un esfuerzo

más en un momento económico cuando menos delicado. En cualquier caso, parece aconsejable cumplir con lo establecido en la convocatoria para no incurrir en posteriores incumplimientos que puedan interpretarse como susceptibles de devolución del importe de la subvención.

La mejor forma de conocer la política de una determinada revista respecto al acceso abierto es la herramienta Sherpa-Romeo. Basta introducir el nombre de la revista para conocer qué tipo de auto-archivo permite, los tiempos de embargo, etc. La Figura 1 muestra una captura de pantalla correspondiente a la revista *J. Am. Chem. Soc.*, de donde se obtiene toda la información necesaria. Se señala la posibilidad de archivo de pre-print o post-print bajo determinadas condiciones, que aparecen en la secciones de Limitaciones y Condiciones Generales. Destaca el embargo de 12 meses ya comentado, o la prohibición taxativa del uso de la versión pdf de la publicación como tal. Asimismo, se indica que la opción de acceso directo mediante pago está disponible (ACS Author Choice). En la Figura 2 se presenta la misma página para la revista *Chemical Science*. En este caso la política es menos restrictiva, y se permite el auto-archivo con condiciones más suaves, que llevan a que la versión de la editorial pueda archivar en los sitios web del autor, por ejemplo. Se mantiene, no obstante, el embargo de 12 meses para la versión post-print en los repositorios institucionales. De manera general, Sherpa/Romeo va a proporcionar la información necesaria para no incurrir en ninguna acción que pueda ser interpretada como no permitida por las editoriales.



**SHERPA/ROMEO** Inicio • Buscar • Revistas

Buscar - Políticas de copyright de las editoriales y autoarchivo [English](#)

Se ha encontrado una revista que coincide con los criterios de búsqueda: **Journal of the American Chemical Society**

Revista: **Journal of the American Chemical Society** (ISSN: 0002-7863, ESN: 1520-5126)

RoMEO: This is a RoMEO **white** journal

OA de pago: Esta revista dispone de una opción de acceso abierto de pago

**Pre-print del autor:**  el autor **puede** archivar la versión pre-print (ie la versión previa a la revisión por pares) **siempre que se cumplan las restricciones que se indican más abajo**

**Limitaciones:**

- Must obtain written permission from Editor
- No debe infringir las directrices éticas de ACS

**Post-print del autor:**  el autor **puede** archivar la versión post-print (ie la versión final posterior a la revisión por pares) **siempre que se cumplan las restricciones que se indican más abajo**

**Limitaciones:**

- Si es mandatorio por parte del organismo de financiación o empleador/institución
- If mandated to deposit before 12 months, must obtain waiver from institution/funding agency or use AuthorChoice
- 12 meses de embargo

**Versión de editor/PDF:**  el autor **no puede** archivar la versión del editor/PDF

**Condiciones generales:**

- On author's personal website, pre-print servers, institutional website, institutional repositories or subject repositories
- No comercial
- Debe acompañarse de la declaración establecida (ver política)
- Debe ir enlazado a la versión de editor
- La versión de editor/PDF no puede utilizarse
- If mandated sooner than 12 months, must obtain waiver from Editors or use AuthorChoice

OA mandatorio: (Esperando información)

Open Access de pago: [ACS AuthorChoice](#)

Notas:

- Reviewed on 07/08/2014

Copyright: [Copyright form - ACS Journal Publishing Agreement - NIH Policy](#)

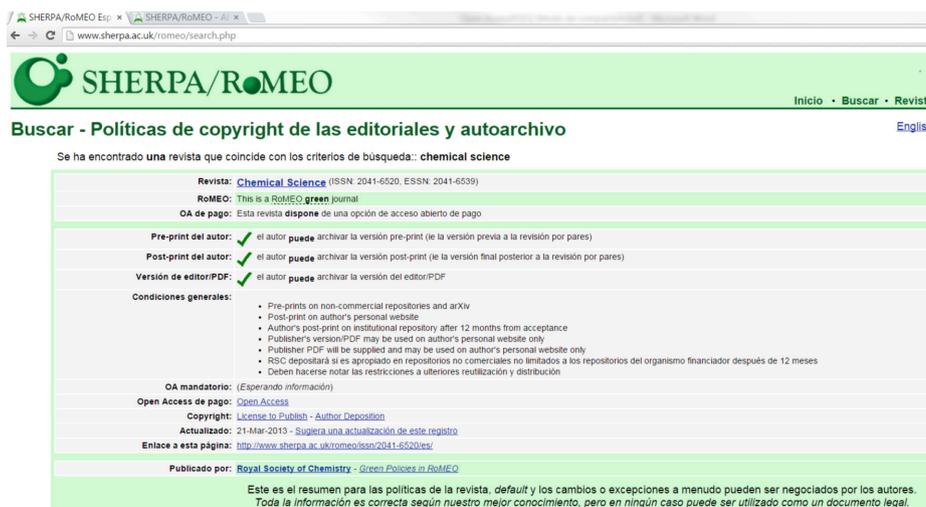
Actualizado: 07-Aug-2014 - [Sugiera una actualización de este registro](#)

Enlace a esta página: <http://www.sherpa.ac.uk/romeo/issn/0002-7863/>

Publicado por: [American Chemical Society - White Policies in RoMEO](#)

Este es el resumen para las políticas de la revista, default y los cambios o excepciones a menudo pueden ser negociados por los autores. Toda la información es correcta según nuestro mejor conocimiento, pero en ningún caso puede ser utilizado como un documento legal.

Figura 1. Datos de la revista *J. Am. Chem. Soc.* en Sherpa/Romeo



**SHERPA/ROMEO** Inicio • Buscar • Revistas

Buscar - Políticas de copyright de las editoriales y autoarchivo [English](#)

Se ha encontrado una revista que coincide con los criterios de búsqueda: **Chemical Science**

Revista: **Chemical Science** (ISSN: 2041-6520, ESN: 2041-6539)

RoMEO: This is a RoMEO **green** journal

OA de pago: Esta revista dispone de una opción de acceso abierto de pago

**Pre-print del autor:**  el autor **puede** archivar la versión pre-print (ie la versión previa a la revisión por pares)

**Post-print del autor:**  el autor **puede** archivar la versión post-print (ie la versión final posterior a la revisión por pares)

**Versión de editor/PDF:**  el autor **puede** archivar la versión del editor/PDF

**Condiciones generales:**

- Pre-prints on non-commercial repositories and arXiv
- Post-print on author's personal website
- Author's post-print on institutional repository after 12 months from acceptance
- Publisher's version/PDF may be used on author's personal website only
- Publisher PDF will be supplied and may be used on author's personal website only
- RSC depositará si es apropiado en repositorios no comerciales no limitados a los repositorios del organismo financiador después de 12 meses
- Deben hacerse notar las restricciones a posteriores reutilización y distribución

OA mandatorio: (Esperando información)

Open Access de pago: [Open Access](#)

Copyright: [License to Publish - Author Deposition](#)

Actualizado: 21-Mar-2015 - [Sugiera una actualización de este registro](#)

Enlace a esta página: <http://www.sherpa.ac.uk/romeo/issn/2041-6520/>

Publicado por: [Royal Society of Chemistry - Green Policies in RoMEO](#)

Este es el resumen para las políticas de la revista, default y los cambios o excepciones a menudo pueden ser negociados por los autores. Toda la información es correcta según nuestro mejor conocimiento, pero en ningún caso puede ser utilizado como un documento legal.

Figura 2. Datos de la revista *Chem. Sci.* en Sherpa/Romeo

## Mariola Tortosa

### Universidad Autónoma de Madrid

#### BIOGRAFÍA PERSONAL

Mariola Tortosa se licenció en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) en 1999. Realizó su Tesis Doctoral en el Instituto de Química Orgánica General del CSIC (IQOG-Madrid) bajo la supervisión del Prof. Roberto Fernández de la Pradilla y recibió el título de Doctora en Ciencias Químicas (*cum laude*) por la UAM en enero de 2005. Su estancia postdoctoral la realizó en The Scripps Research Institute (Florida, EE. UU.) en el grupo del Prof. William R. Roush (Síntesis Total de productos naturales). Se reincorporó al IQOG en 2008 como investigadora Juan de la Cierva trasladándose a la UAM como contratada Ramón y Cajal en 2011. En 2013 recibió una ERC-Starting Grant (European Research Council). Su trabajo actual se centra en química de boro, catálisis asimétrica y síntesis de productos naturales. Durante estos años ha recibido, entre otros, los siguientes premios: Thieme Journal Award 2015; Eli Lilly Young Researcher Award 2014; RSEQ Young Researcher Award 2014; JSP Fellowship 48<sup>th</sup> Bürgenstock Conference 2013.

La entrevista tuvo lugar en el despacho de Mariola Tortosa el día 18 de septiembre de 2015.

#### EDUCACIÓN Y FORMACIÓN

– *Siempre empezamos con una pequeña biografía personal. ¿Qué o quiénes te llevaron a estudiar Química?*

No lo tuve claro hasta el final. Yo quería hacer Farmacia y fueron las circunstancias las que me llevaron a la Química. Cuando estaba en COU a mi padre le diagnosticaron un cáncer terminal y en Murcia no había

Facultad de Farmacia. Mi situación familiar hizo que quisiese quedarme a estudiar en Murcia. Hablé con Roberto Fernández de la Pradilla, que luego sería mi director de Tesis (su hermano es amigo de la familia), y me recomendó que si quería hacer investigación estudiase Químicas. Entonces, estudié Químicas y no me arrepiento.

“ Yo quería hacer Farmacia y fueron las circunstancias las que me llevaron a la Química ”



Mariola Tortosa en el laboratorio de prácticas durante su cuarto curso en la UAM

## “Hacer el postdoc en Síntesis Total fue una de las mejores decisiones de mi carrera científica”

—¿Por qué te licenciaste en la Universidad Autónoma de Madrid y no en la Universidad de Murcia?

Estudié los tres primeros años en Murcia durante los que mantuve el contacto con Roberto. Una vez tuve claro que quería hacer la Tesis Doctoral, Roberto me recomendó trasladarme a Madrid. Me dijo que los Departamentos de la Universidad de Murcia eran muy buenos, pero que en Madrid iba a tener más opciones. Me sugirió que mirase los planes de estudio de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y la Universidad Complutense (UCM). Decidí venir a Madrid e hice cuarto y quinto en la UAM. En ese sentido Roberto tuvo una influencia decisiva en esta decisión.

—¿Y elegir la UAM en lugar de la UCM?

Para mí, que tenía muy claro que quería hacer Química Orgánica, el plan de estudios de la UAM era muy

atractivo, en el que cuarto y quinto (entonces las Licenciaturas eran de 5 años) se dedicaban únicamente a Química Orgánica. No era un plan en el que estudiabas en cuarto ampliación de Química Inorgánica, ampliación de Química Analítica, etc.

—Después te marchas al CSIC ¿Decisión científica u oferta de una Beca predoctoral?

Bueno, debido a la relación que tenía con Roberto, primero tuve una beca en cuarto y quinto que me dio la oportunidad de empezar a trabajar en el CSIC. Después, una vez que ya conocía el CSIC, me gustaba en lo que estaba trabajando y también el grupo de investigación, me concedieron una beca FPU y seguí adelante.

—Tu Tesis la haces en metodología sintética y te marchas a Scripps a trabajar en Síntesis Total (con Roush). ¿Por qué ese cambio? ¿Qué te gusta más?

La Síntesis Total de productos naturales siempre me había gustado. Leer las síntesis publicadas es algo con lo que siempre he disfrutado. Cuando terminé la Tesis tuve que decidir entre metodología sintética o Síntesis Total. Pensé que en la Tesis había hecho metodología y que la Síntesis Total podía complementar mi formación. Además era algo que, si no lo hacía entonces, no lo iba a hacer nunca. Me lancé sabiendo el riesgo que supone hacer un postdoc en Síntesis Total e intentar volver luego al sistema español. El número de publicaciones puede ser cero y eso es un riesgo que tienes que asumir. Volver sin publicaciones a España e intentar conseguir un contrato es complicado. Quizás fui un poco inconsciente. Ahora lo pienso y, bueno, me salió bien la jugada, pero podía no haberme salido tan bien. De hecho hubo profesores de la UAM que me dijeron que estaba hipotecando mi vuelta a España. Sin embargo, pudieron más las ganas de enfrentarme a un reto de ese tipo, que el pensar en las consecuencias sobre mi futura vuelta a España. Hoy pienso que fue una de las mejores decisiones de mi carrera científica.

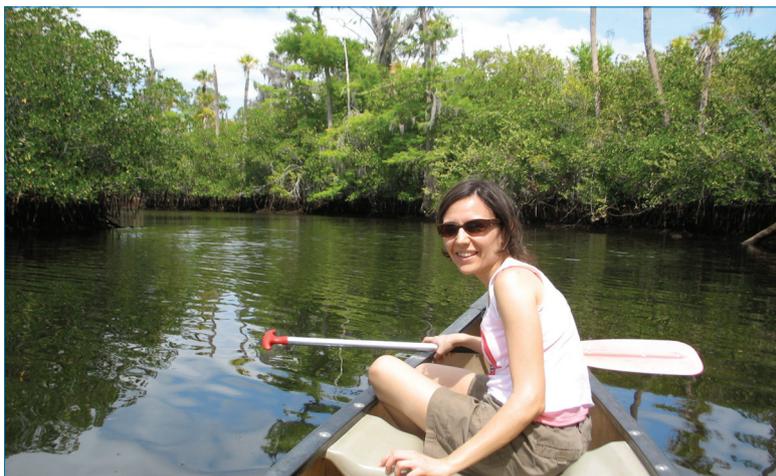
—Una vez terminado tu postdoc vuelves a España, a tu grupo de Tesis en el CSIC ¿Pensaste seriamente en buscar mejores oportunidades fuera de España? ¿En qué momentos y por qué?

Después de tres años fuera sí que lo pensé. Me planteé buscar algo en EE. UU., sobre todo porque mi pareja entonces, mi marido ahora, es americano. Pero cuando me concedieron el contrato Juan de la Cierva pensé que si no volvía en ese momento ya no volvería. Desde un punto de vista personal quería que mi marido viviese un tiempo en España, y después decidir qué hacer. Luego, la cosa se ha alargado más de lo que pensábamos porque los dos hemos encontrado una cierta estabilidad en España.

—¿Fueron solo motivos personales o hubo algún atractivo científico en tu vuelta a España?



Mariola Tortosa durante su Tesis Doctoral en el CSIC



En Florida durante su estancia postdoctoral

**“No me atraía nada volver al sistema español”**

Científicos no. No me atraía nada volver al sistema español, aparte de intentar hacer algo en tu país. Ese sentimiento de hacer algo en España pesó pero, desde un punto de vista profesional, volver a España me costó.

—Entonces ¿qué es lo que debería ofrecer el sistema español para hacer más atractiva la reincorporación de nuestros investigadores en el extranjero?

Garantizar que puedes empezar a trabajar con una cierta independencia. Yo creo que éste es el incentivo que un joven busca para volver. El postdoc es el período de generar ideas. Lo atractivo sería que te concediesen un espacio, pequeñito pero propio y un poco de dinero, sin tener que depender de un profesor ya establecido. Las cosas no han mejorado respecto a cuando volví sino que han empeorado. Ver la vuelta a España como un período de ocho o nueve años, que tienes que pasar antes de conseguir una cierta estabilidad, no te anima precisamente. Si tu ambición no va más allá y te contentas con eso pues bueno. Si tienes ganas de hacer algo por ti mismo, ahí te cortan las alas. No es nada atractivo.

—Siguiendo con este tema, te reincorporaste al CSIC pero cuando ganaste el Contrato RyC te marchaste a la UAM ¿Significa esto que hay más oportunidades en la Universidad para una joven investigadora?

Si te soy sincera en el CSIC no me pude quedar porque no me dejaron. La realidad es ésa. Mi primera opción era el CSIC, pero su política en ese momento limitaba el número de Cajales por convocatoria y área y yo me quedaba fuera. Me dijeron que no había opciones salvo que hubiese una renuncia. Yo no quise arriesgar y me marché a la UAM. En el fondo me dolió que, después de una trayectoria en el CSIC más o menos estable,

**“Trabajar con una cierta independencia es el incentivo que un joven investigador busca para volver a España”**

**“En el CSIC no me pude quedar porque no me dejaron”**

me cerraran las puertas de ese modo. Volví a la UAM porque José Luís García Ruano me acogió en su grupo. Parece que si te dan un Cajal lo tienes todo hecho y te encuentras que sin un grupo que acoja no tienes nada. Me encontré puertas cerradas, sitios en los que me decían que tenían sus candidatos y que no querían coger un Cajal para no perjudicarlos.

—¿Qué debería hacer el CSIC para no perder investigadores como tú?

Desde luego no tener ese tipo de normas tan restrictivas y poco flexibles. Un Cajal siempre es algo positivo tanto para una universidad como para un instituto del CSIC. El poner estas restricciones me parece absurdo, sobre todo cuando se están concediendo plazas a gente sin la misma proyección científica que un investigador Ramón y Cajal, que ha tenido que pasar un duro proceso de selección para obtener el contrato.

—¿Cómo te ha tratado la Universidad? ¿Te ha costado mucho hacerte un hueco como investigadora independiente?

Me ha tratado bastante bien. La Universidad sigue siendo un espacio muy jerárquico y esto hay que asumirlo. A nivel universitario yo sigo siendo un Cajal. El haber conseguido

## “ El haber conseguido un proyecto europeo no me ha dado ninguna ventaja en el plano académico”

un proyecto europeo no me ha dado ninguna ventaja en el plano académico. A la hora de conseguir una plaza indefinida yo sigo estando en donde estaba. Pero hay que decir que, en la medida de lo posible, con las dificultades que tiene la Universidad para adaptarse a situaciones como la mía, que todavía son poco frecuentes, me han tratado bastante bien. La Universidad me está preparando un espacio para investigar y el departamento me ha ayudado todo lo que ha podido.

–*Este es un tema delicado ¿Consideras que los contratos RyC deberían incluir una cláusula estableciendo la obligación por parte del investigador y del centro de acogida de crear un grupo independiente?*

Desde luego. Esa cláusula debería estar en la convocatoria de contratos RyC. El programa RyC tiene un problema que lo está desvirtuando. Al investigador le dan unas expectativas de conseguir espacio y financiación que luego no se cumplen. Deberían ofrecerle una financiación que le permitiese contratar a un par de estudiantes durante cinco años. Así funciona Europa y Estados Unidos. Si a un Cajal no le das eso, nunca vas a conseguir lo que quieres de él: que llegue a formar un grupo de investigación independiente.

–*Eres una de las pocas investigadoras que ha conseguido una ERC-StG. ¿Cómo va a influir esto en tu carrera científica?*

A largo plazo no lo sé. A corto plazo jamás hubiese podido hacer lo que estoy haciendo si no hubiese conseguido este proyecto. Ha habido un antes y un después de conseguir esta ayuda.

–*Esa ERC está planteada como metodología sintética ¿La Síntesis Total ya no está de moda?*

Que no está de moda es un hecho. Basta con ver el número de síntesis que se publican. Pero más importante que no estar de moda es que no se consigue financiación para hacer exclusivamente Síntesis Total. Es verdad que se ha demostrado que con medios y personas se puede preparar casi cualquier molécula, pero queda mucho hueco y mucho qué hacer. El problema es que, para hacer Síntesis Total, necesitas un grupo muy grande y mucho dinero. Sin esto no puedes abarcar un proyecto de estas características. Si las agencias evaluadoras deciden que un proyecto así no es prioritario, eso marca la moda. Por eso tienes que buscar el equilibrio. En la ERC también se plantean aplicaciones de la metodología desarrollada a la preparación de productos con interés biológico. No es algo que haya dejado, es algo a lo que no puedo dedicarme exclusivamente en este momento de mi carrera. En cualquier caso, los productos naturales siguen siendo para mí una fuente de inspiración para enfrentarme a problemas sintéticos.

–*¿Tiene futuro la Síntesis Total?*

Hay muchas cosas por hacer pero desde una perspectiva diferente. Ya no se trata de hacer una molécula por el hecho de hacerla, hay que aportar eficiencia por ejemplo. La Síntesis Total es una fuente de metodología, de generar compuestos bioactivos, etc., Por eso volverá, no sé si con el esplendor que tuvo pero seguro que vuelve. La Síntesis Total tiene un aspecto que no tienen

otras áreas de la química: forma doctores de una forma que con una Tesis en metodología no puedes conseguir. Lo cuestionable es si eso justifica el gasto elevado que conlleva la Síntesis Total.

–*En cualquier país de nuestro entorno una persona como tú con fondos de investigación propios, un grupo activo y un nivel de investigación excelente sería, como mínimo, el equivalente a Profesora Titular. En España todavía no eres Profesor Contratado Doctor (PCD) ¿Qué te parece esta situación? ¿Cómo cambiarías el sistema de promoción en la Universidad española?*

La pregunta es muy complicada. En cualquier lugar de Europa, o, sin ir más lejos, hace 15 años en España, una persona como yo ya sería Profesora Titular. La media en España hace unos años para ser Profesor Titular eran 34-35 años. Ahora para conseguir una plaza de Contratado Doctor la edad media son 40 años. Es un problema muy serio. ¿Cómo se puede solucionar? Una de las formas sería conceder más autonomía a las universidades para ofertar sus plazas. Claro, eso supone asumir que la Universidad va a hacer una buena gestión de esa autonomía. Ahí tenemos otro problema. En la universidad no todo es ciencia e investigación. La Universidad sigue considerando esencial “el pan para todos”. Todos somos iguales para la Universidad y es muy difícil ir en contra de eso. Si se le da a la Universidad la potestad para generar excelencia y la Universidad la utiliza para repartir por igual para todos, estamos otra vez como al principio. Tiene que haber un compromiso muy claro por parte de la Universidad de buscar esa excelencia.

Alternativamente, se puede optar por una carrera universitaria en la que se potencie la investigación. Es decir, un camino paralelo al actual para llegar al mismo sitio, pero en un sistema en el que ambos caminos no tengan por qué converger en un mismo punto como lo hacen ahora.

## “ Tiene que haber un compromiso muy claro por parte de la Universidad de buscar excelencia”



## No me han tratado de forma distinta por el hecho de ser mujer



—¿Qué opinas, tú que la sufres directamente, de la política de promoción universitaria establecida por el Gobierno de España?

La situación actual es lamentable. Para quien la sufre es un motivo de intranquilidad que te impide centrarte en las cosas que deberías. Hay mucha gente que se queda en el camino porque se cansa de pelear en una batalla que nunca se acaba. No se trata de que te hagan un contrato indefinido para ya estar tranquila. Es que es una parte importante de tu carrera tener una cierta estabilidad. Conozco de forma muy directa a personas a las que les acaban de conceder una ERC-Consolidator y no se pueden quedar en la Universidad. Esto no puede ser. No sé cuál es la solución pero estas situaciones no deberían tener cabida en una Universidad.

—En tu opinión, las oportunidades para progresar ¿se buscan o le llegan a una?

Ambas cosas. Uno tiene que lanzarse siempre, aunque creas que está fuera de tu alcance. Pero para lanzarte, antes tienes que partir de algo. Hay un factor de suerte, sin duda. Pero en investigación, si no vives con la máxima de dar el cien por cien (durante todas las etapas, Tesis, postdoc, etc.), difícilmente vas a alcanzar metas posteriores.

—¿Genialidad o trabajo duro? ¿Qué consideras más importante en Ciencia?

Las dos son importantes pero la genialidad sin trabajo duro no es nada. Evidentemente hay que tener unas cualidades para poder desarrollar tus ideas. Pero ninguno de los grandes nombres en Química Orgánica y en otras áreas de la Ciencia lo son sólo por su genialidad, detrás hay un trabajo duro importante. Si se combinan las dos cosas, entonces se llega hasta lo más alto.

—Como investigadora joven estas más cerca de los investigadores en formación. ¿Qué opinas de la impresión muchas veces oída en diversos foros de que las nuevas generaciones de investigadores predoctorales/postdoctorales no son tan abnegadas o sacrificadas como las de antes?. ¿Crees que esto responde a una actitud de escepticismo y/o a la de pérdida del idealismo acerca de la persona que dedica su vida a la ciencia?

Es verdad que cada generación piensa que nadie trabaja tan duro, ni está tan preparada, como la suya. Es algo que yo oí durante mi Tesis y ahora es algo que yo me encuentro pensando de los que vienen detrás. Algo debe de haber de cierto, pero también debe de haber una cierta falta de objetividad.

En cualquier caso, creo que lo que se plantea en la pregunta es cierto. Las nuevas generaciones ven el siguiente panorama: esta persona ha hecho la Tesis, se ha ido de postdoc, ha conseguido dar pasos y avanzar con un esfuerzo tremendo y... no tiene nada. Tanto esfuerzo, ¿para qué? Ven el futuro muy negro. Además, está la idea de que “yo no voy a trabajar gratis”, eso es real. Pero se junta con la visión pesimista sobre su futuro y hace que pierdan la ilusión y las ganas.

—¿Has encontrado barreras por el hecho de ser mujer?

Yo no me he encontrado en ninguna situación en la que haya visto que se me ha tratado de forma distinta por

el hecho de ser mujer. Ser mujer tiene la dificultad de que, si quieres tener hijos, sabes que hay una etapa de tu carrera en la que se complica todo. Esto sí supone una diferencia, pero no por discriminación sino por cuestiones biológicas.

—Esto puede parecer un tópico pero: ¿Has tenido que demostrar más méritos que tus colegas masculinos para conseguir el mismo reconocimiento?

En mi caso particular, yo no me he sentido así en ningún momento. A la hora de solicitar cualquier puesto o ayuda en una convocatoria pública en España, no he sentido esa discriminación. A nivel internacional, uno se encuentra situaciones en las que tiene que demostrar más que otros, pero creo que tiene más que ver con ser joven y estar empezando. Sin embargo, sí creo que existen situaciones en las que una mujer tiene que demostrar más por el hecho de ser mujer. En el mundo científico todavía hay una mayoría masculina, sobre todo en los niveles más altos.

—Es un hecho que las mujeres alcanzan menos puestos de gran responsabilidad que los hombres. Por ejemplo, hay menos mujeres que hombres que son IP. ¿Cuáles pueden ser los motivos?

Hay un motivo claro: cuando eres mujer, si quieres tener hijos, eso consume una parte de tu tiempo que tienes que sacar de otro sitio. Tener hijos y seguir intentado hacer investigación a un nivel bueno es complicado y requiere un esfuerzo grande. Y es una opción que no todo el mundo quiere o puede asumir.

También hay una falta de modelos, la ausencia de personas concretas que hayan llegado a niveles altos y que tengan su familia. Conozco casos pero son muy pocos. Esto supone un freno: no tener mujeres en las que fiarte, ver cómo lo han conseguido, a



## Tener hijos y hacer investigación a un buen nivel es complicado





Mariola Tortosa con su familia

“  
*La ciencia es la ciencia,  
y no tiene género*  
”

quién pedir un consejo, etc. Las nuevas generaciones necesitan que cada vez haya más modelos en ese sentido. En esta profesión, la mujer quiere ser madre entre los 30 y los 40 años, un período que coincide con la etapa en la que necesitas dar un impulso más grande a tu carrera científica. Combinar las dos cosas significa que tienes que asumir que debes hacer un esfuerzo adicional.

*–Esta situación no se da en un hombre que quiera tener hijos. El término “conciliación familiar”, ¿qué significa para ti?*

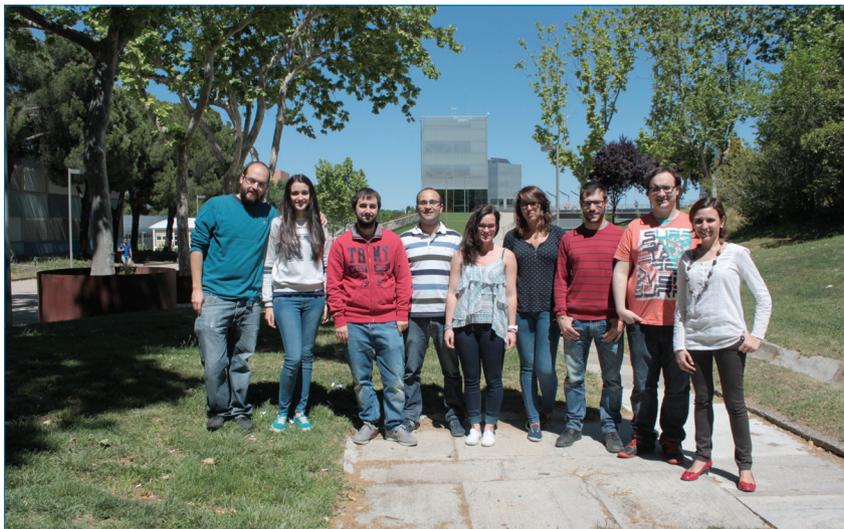
Por una cuestión biológica, evidentemente la madre está más implicada físicamente (en el embarazo y durante la baja maternal, es un papel en el que no es sustituible). Además, también por cuestiones biológicas, en los primeros años de educación del niño está más implicada por lo menos emocionalmente, dando por sentado que los padres ayudan mucho. Pero es una realidad, la madre asume más “carga”. La conciliación es complicadísima y creo que no llega a existir. Hay profesiones que te permiten “conciliar” más, pero no es el caso de la investigación.

*–¿Qué actuaciones podrían mejorar esta situación?*

Intentar que el descenso de productividad por maternidad no suponga una penalización en tu carrera investigadora. No se me ocurre otra que sea tan efectiva como ésta: medidas que tengan en cuenta las bajas de maternidad. Cuando decides tener un hijo siempre piensas en cómo va afectar esto a tu futuro profesional y eso no debería ser así.

*–¿Consideras positiva la discriminación positiva?*

Es positiva siempre que se cuente con mujeres que puedan hacerlo tan bien como un hombre. Por eso, lo que hay que fomentar es que aumente el número de mujeres que opten por una carrera científica. No por el hecho de ser mujer te tienen que dar nada. Siempre hay que optar por el mejor candidato. Hay que buscar excelencia con igualdad.



Mariola Tortosa con su grupo de Investigación

“  
*En España la ciencia  
no es una prioridad*  
”

–*Women in science*... ¿qué opinas?

Está claro que la ciencia, hasta hace unos años, era un campo de hombres. Siempre que estas iniciativas ayuden a romper tabúes, a que haya otras mujeres que se animen a dedicarse a la ciencia, a hacer atractivo este camino y a romper la idea de que por ser mujer no puedes ser un buen científico, me parecen bien. Que haya una ciencia para/de mujeres... ahí ya no estoy tan de acuerdo. La ciencia es la ciencia, y no tiene género.

–*Terminamos ya, ¿Cómo ves la situación actual de la química española? ¿Podemos pensar en un premio Nobel de Química para tu generación?*

Veó una situación complicada para la química española. Creo que los recortes sufridos en los últimos años nos han hecho retroceder bastante y ese retroceso no se va a recuperar en cuestión de unos pocos años, sino que va a tardar bastante más. Para que haya un premio Nobel español en Ciencia tendríamos que estar al nivel de otros países, y no lo estamos. No es cuestión de falta de capacidad ni de preparación, sino de la prioridad que tiene la Ciencia en tu país. El número de premios Nobel de un país refleja lo que en ese país importa la investigación. En España tenemos muy pocos... y eso refleja que la Ciencia no es una prioridad.



Mariola Tortosa en su "despacho" el día de la entrevista

Gracias Mariola por tu tiempo y por compartir con nuestros lectores tus ideas y experiencias. No creemos que sea necesario desearte suerte pero como nunca viene mal "muchoa suerte y muy buen futuro".

SONSOLES MARTÍN SANTAMARÍA  
MIGUEL Á. SIERRA

## De Woodward a Whitesides

Julio Delgado Martín

Cuando Miguel Ángel Sierra, editor de *Anales de Química*, me ofreció escribir un artículo que diera una visión personal de la química que me tocó vivir, estaba ya retirado en Tenerife y ejerciendo de abuelo. Agradecí su oferta. Considero que, quizás entre los lectores de *An. Quím.*, haya colegas y amigos a quienes les pueda ser útil leer reflexiones de protagonistas jubilados sobre lo que fueron sus carreras profesionales. Esta es mi oportunidad y la asumo con la mayor responsabilidad. Espero y deseo que los lectores más jóvenes encuentren en este artículo valores quizás ya olvidados por la comunidad científica y, sin embargo, esenciales para subsistir en la soledad de los laboratorios. Lo contenido en el escrito es una visión muy personal, sin ánimo alguno de polemizar o de influir, de la ciencia sobre la que me ha tocado reflexionar.

Las opiniones de los colegas que me han precedido: José Font (*An. Quím.* 111(1), 2015, 21-24), José Elguero (*An. Quím.* 111(1), 2015, 25-28) y Manuel Martín Lomas (*An. Quím.* 111(2), 2015, 77-82) sobre lo que era la química en nuestro país a mediados del siglo pasado, las comparto en su totalidad. Así que no voy a incidir más en el tema. Sólo decir que como hijo de republicano, anticlerical y socialista represaliado por la dictadura del general Franco, no fue para mí novedad lo que encontré en la universidad. Nací en un pueblo de Tenerife, Realejo Bajo, en el que, en mi niñez, las navidades se celebraron más de una vez con el Niño Jesús brazo en alto vestido de falangista. En más de una ocasión oí balbucear al pasar por mi lado una vecina ya anciana: “de los rojos no deberían haber dejado ni la semilla”. Por tanto, no resultó para mí extraño que la miseria social del franquismo estuviera también en la universidad y que la investigación oficial que se hacía fuera fruto de ella. Tuve la enorme suerte de crecer en el desafecto y sin ataduras al país y la sociedad que la dictadura ofrecía.

Inicié a los 22 años, en 1964, mi carrera como investigador en el recién inaugurado Instituto de Investigaciones Químicas de Tenerife (1963) creado por iniciativa del profesor Antonio González y González, Catedrático de Química Orgánica, en el marco de la Universidad de La Laguna, el CSIC y el Cabildo de Tenerife. Es justo reconocer que Tenerife en aquellos años era una excepción en el panorama

científico nacional. Según palabras del profesor D. H. R. Barton en una de sus visitas: “el instituto creado por el profesor González localizaba a La Laguna en el mapa de la química”. La ULL se encontraba en cuadro; el CSIC, se creó una vez finalizada la Guerra Civil con el firme objetivo, en palabras de su primer presidente, de “liquidar todas las herejías científicas que secaron los cauces de nuestra genialidad nacional y nos sumieron en la más profunda atonía y decadencia” y “crear una ciencia católica que ilumine a todo hombre que viene a este mundo”. La Universidad y el CSIC, fuera de las misas y rogativas al Espíritu Santo pidiendo sabiduría en los comienzos de cada curso académico, poca ayuda dieron al desarrollo inicial de la actividad científica del Instituto que, en el día a día, se sustentó de las ayudas que podían llegar del Cabildo Insular de Tenerife.

La segunda persona para mi inolvidable de aquellos años fue el profesor Benito Rodríguez Ríos, Catedrático de Química Inorgánica, quien se preocupó año tras año y con fondos, cómo no, del Cabildo Insular de Tenerife, que se renovaran las suscripciones de las revistas científicas en la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Laguna. En nuestra hemeroteca estaban recogidas las aportaciones periódicas de las sociedades químicas más importantes del mundo esperando por investigadores que se interesaran en su lectura. Fue don Benito, posiblemente por razones ideológicas y debido a mi constante presencia en “su” hemeroteca, el primer catedrático que me brindó su amistad.

El Instituto de Investigaciones Químicas de Tenerife se dedicó al estudio químico de sustancias de origen natural. Era una investigación relativamente barata y asequible al nivel científico de los miembros numerarios del Instituto. El profesor González tenía que estar gran parte de su tiempo buscando fondos para mantener la investigación, por lo que recaía en los doctorandos el nivel de la investigación que allí se hacía. La organización del centro fue modélica puesto que sobre la base de un pequeño grupo de investigación inicial, los campos de trabajo se diversificaron generando nuevas líneas de investigación que favorecieron su crecimiento y consolidación. Impulsó el profesor Antonio González la estancia posdoctoral de sus alumnos en centros no españoles y la incorporación al Instituto de estudiantes extranjeros, convirtiendo en norma una práctica nada común en la España de la época. Era muy frecuente la visita de profesores extranjeros, tanto europeos como americanos. Promovió también la celebración de seminarios conjuntos entre investigadores del instituto con colegas de otros países.

Según mi cuaderno de laboratorio, en noviembre de 1964 extraje por primera vez en metanol hirviendo la planta *Euphorbia obtusifolia* con el fin de preparar el insaponi-



J. Delgado Martín

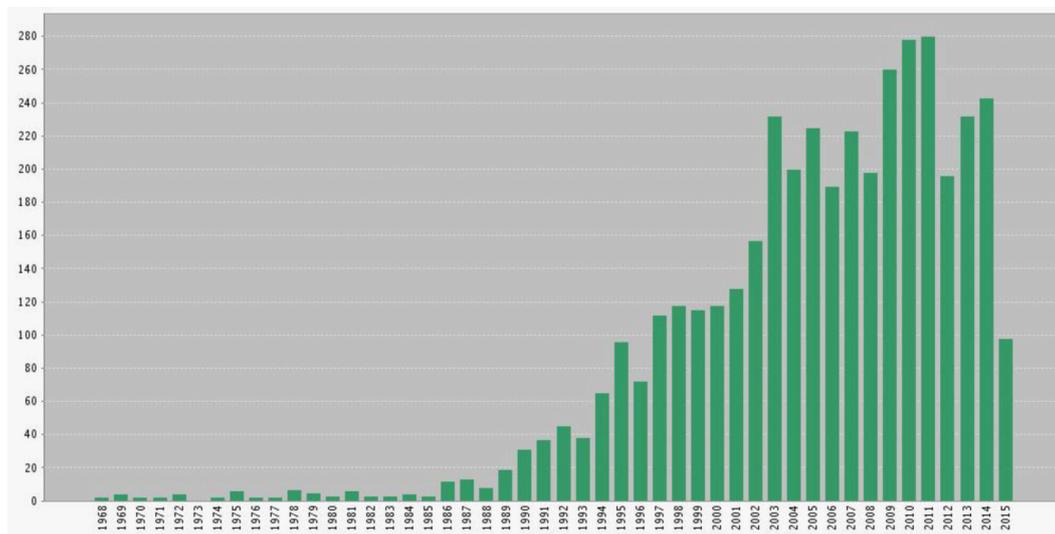
Profesor de investigación del CSIC  
y catedrático de universidad retirado  
C-e: [jdmartin@iq.csic.es](mailto:jdmartin@iq.csic.es)

Recibido: 24/07/2015. Aceptado: 29/07/2015.

ficable que se supone contiene el extracto terpénico de la planta. Comenzó así mi aprendizaje como investigador. Esta operación la realicé más de una docena de veces en los tres años siguientes. En marzo de 1967 presenté mi trabajo de doctorado que incluía la determinación de la estructura del obtusifoliol, un intermedio terpénico desmetilado que resultó ser fundamental para la comprensión del esquema biogenético que relaciona en el mundo vegetal y animal, los compuestos producto de la inmediata ciclación del escualeno con fitosteroles y esteroides. La importancia de los procesos naturales de metilación/desmetilación en la bioactividad de las moléculas es aún hoy día incomprensible y de importancia en los estudios biomédicos cuando se investigan a nivel de las moléculas. Permítanme que en honor al profesor Antonio González y su interés por las sustancias naturales, incluya el esquema que sigue a continuación:

El Esquema 1 se corresponde con la expresión gráfica del número de citas/año del tópicu obtusifoliol, desde que le dimos el nombre y publicamos su estructura (*Anal. Real Soc. Fis. Quím. (B)* 191-196, 1967), la importancia biológica de esta molécula sigue creciendo año tras año.

El profesor Barton (Imperial College, UK) y otros muchos de los químicos y bioquímicos que nos visitaron: D. Arigoni (ETH, Zurich), G. Ourisson, P. Benveniste (Univ. Louis Pasteur, Estrasburgo), T. W. Goodwin (Univ. Liverpool)..., se interesaron por la molécula de mi tesis y pasé el verano de 1967 aislando y purificando un total de tres gramos del obtusifoliol que utilizaron para confirmar su naturaleza de intermedio mostrando su incorporación en los cultivos con que trabajaban. Fue el profesor Barton la primera persona con la que mantuve una relación científica que empezó, por mi parte, en admiración y continuó en amistad durante mi estancia posdoctoral en Inglaterra (Figura 1).



Esquema 1. Representación gráfica del número de citas del obtusifoliol/año (*Journal Citation Reports*, 25 de julio de 2015)



Figura 1. Entre Sir Derek Barton y el profesor Antonio González a principios de la década de los 70

Antes de continuar con mi biografía, considero importante contar que el interés por la Química Orgánica comenzó por un hecho fortuito en la biblioteca de la Facultad en La Laguna. Desde comienzos del año 1963 fui un asiduo lector de las revistas de las sociedades químicas, sobre todo de la americana e inglesa. Milagros, la bibliotecaria nos dejaba la llave a mi amigo Gabriel de la Fuente y a mí, por lo que teníamos libre acceso también los fines de semana. Descubrí por casualidad el trabajo de R. B. Woodward sobre la síntesis de la reserpina (*J. Am. Chem. Soc.*, 1956, 78, 2023-2025; *Tetrahedron* 1958, 2, 1-57). Gabriel y yo la estudiamos durante meses y llegamos a la conclusión de que la síntesis en química se podía hacer de manera racional. Descubrimos una metodología alternativa a las que se nos contaban en los libros de texto.

Bobby Fisher ha sido en el ajedrez el jugador más grande que ha existido; no era un jugador académico pero siempre respondía al contrario con la mejor jugada posible. No con la mejor que “supiera hacer” sino con la “mejor que podía hacerse”. De igual forma Woodward, con la síntesis de la reserpina demostró que cada intermedio sintético ha de cumplir la condición de ser la molécula más apropiada para conducir el siguiente paso de reacción. Si para jugar al ajedrez de la forma antes mencionada hay que ser inteligente además de estar muy bien instruido, imagina para ser un buen químico sintético, donde para conseguir la molécula objetivo ni siquiera se está condicionado por los materiales de partida.

Para manejar con “brillantez” tal cantidad de variables hace falta, como mínimo, conocer todo sobre las reacciones orgánicas y además, muy importante también, ser inteligente. Que las síntesis de Woodward fueran racionales, no quiere decir que cualquiera pueda practicar tal metodología. Tampoco nadie podía jugar al ajedrez como Fischer. Todas las simplificaciones posteriores y el nuevo lenguaje desarrollado: árbol de síntesis, retrosíntesis, sinton, intermedio sintético... no han conducido a que se mejorara la metodología seguida por Woodward. La prueba más evidente es que para encontrar la racionalidad presente en publicaciones equivalentes a las de Woodward de los años cincuenta, hemos tenido que esperar cincuenta años por otro químico brillante, Phil Baran, de Scripps.

En septiembre de 1967 estaba en la Universidad de Nottingham, becado por la Fundación Juan March, iniciando en el departamento de química de aquella universidad lo que sería mi estancia posdoctoral que finalizó en junio de 1970. Fue la honestidad y el rigor científico lo más que me impresionó y lo más importante que aprendí en la universidad inglesa. Conocí la élite de la ciencia mundial y tuve la oportunidad de platicar sobre la ciencia que llevaba años estudiando. Tuve la suerte de asistir al “5th International Symposium on Chemistry of Natural Products” que se celebró en el verano de 1968 en Londres, en el que R. B. Woodward dio la conferencia de clausura de título: Recent advances on the chemistry of natural products.

Con el profesor Barton hablé, cada vez que él podía, en fines de semana que me desplazaba a Londres, sobre la forma en que entendía la química y mis inquietudes en la síntesis orgánica. Las ideas que expreso a continuación fueron discutidas con él, así que me es imposible decidir si

son o no de verdad ocurrencias mías. Lo cierto es que son parte de las normas que seguí durante mi carrera como investigador. Si cada paso en el esquema de síntesis ha de ocurrir con el máximo de rendimiento (todo lo demás conceptos, p. ejem., selectividad, protección funcional, economía,... sobran, ya que se encuentran incluidos en el “rendimiento”), quiere decir que si se pudiera expresar en el marco de la termodinámica, el proceso sintético podrá representarse en una línea que exprese el balance energético (rendimiento, costo..) versus el progreso de la síntesis. Esto es siguiendo el mismo esquema gráfico resultado de un equilibrio químico y que homologa procesos tales como: reacción química, plegamiento de proteínas, interacción proteína/ligando, enzima/sustrato,...y son la base conceptual de la Química como Ciencia independiente.

### INICIO DE LA CARRERA EN ESPAÑA COMO CIENTÍFICO INDEPENDIENTE

Desde la firme convicción de que la Ciencia es una actividad social por lo que no debe nunca dissociarse del mundo real que trata de explicar ¿qué había que hacer? estaba muy claro: rellenar los huecos vacantes en la bibliografía. ¿Qué justifica mejor la dedicación de un científico? (i) Aportar continuamente resultados de la investigación que hace, o (ii) Centrarse en un único objetivo durante largos períodos de tiempo aunque tal investigación no conduzca a resultados inmediatos. Sin tener aún claras estas ideas, después de la estancia posdoctoral en Nottingham (67-70), regresé a Tenerife con una beca de reincorporación de la Fundación Juan March, con el propósito de combinar estudios estructurales con sintéticos. El profesor González no tuvo inconveniente, Barton no fue ajeno a ello, y así comenzó mi andadura como investigador independiente en la determinación de estructuras y síntesis de moléculas de origen marino.

La primera estructura importante que sintetizamos fue la de una molécula que previamente habíamos aislado del alga *Taonia atomaria*. La síntesis del taondiol la realizamos mediante ciclación de su hipotético precursor biogénico. Nada fue original en esta síntesis y así lo reconocimos al inicio de la publicación: “The impressive work undertaken at Stanford and Harvard has reduced to laboratory practice certain aspects of stereospecific synthesis and cyclization of polyenes” (*Tet. Lett.* 1973, 3657-3660). Las primeras moléculas que preparamos creyendo que fue siguiendo una metodología original producto de nuestra reflexión fueron aceptadas con el comentario de uno de los referees: “podría haber sido un trabajo de Woodward” (*J. Am. Chem. Soc.* 1985, 107, 516-518; 1986, 108, 7801-7811). El profesor Barton ya me lo había advertido, si en síntesis haces algo que consideras muy bueno, puede que sea que estas “plagiando” a Woodward y en química es necesario ser original.

En esta primera época mis amigos españoles eran catalanes y la persona con la que más hablé de química fue el profesor Félix Serratosa. Era también Félix Serratosa de los pocos que en España trabajaba en la síntesis de moléculas complejas siguiendo varios pasos de síntesis. En general coincidimos en muchas cosas. No estuve de acuerdo con él en que la racionalidad en la síntesis fuera susceptible de ser

extraída de contexto y analizada de forma independiente. Como el concepto del juego de Bobby Fischer era imposible encorsetarlo en estrategia alguna.

Las síntesis de Woodward sirvieron de fuente de inspiración de la síntesis química en la segunda mitad del siglo xx. “There is excitement, adventure, and challenge, and there can be great art, in organic synthesis.” (R. B. Woodward in “Perspectives in organic chemistry”). “Art in organic synthesis” o “Creativity in organic synthesis”, son títulos de libros que recopilan publicaciones de la época. En el último cuarto del siglo pasado, la síntesis química se trató de simplificar y enmarcar dentro de una calculada lógica. Del “arte” se pasó al “diseño”. Se elaboró toda una nueva metodología de trabajo que aunque carente de originalidad conceptual, permitió un nuevo léxico asumido con rapidez por los investigadores: Diseño, retrosíntesis, desconexión, síntón, equivalente sintético, árbol de síntesis...” The design of organic synthesis” o “Guidebook to organic synthesis” fueron nuevos títulos. Se mantiene la definición de la síntesis química como la ruta para llegar lo antes posible, con el rendimiento más alto y a través del menor número de pasos desde una sustancia comercial al producto final; sin embargo, el marco de actuación cambia. Muy pocos alumnos de hoy día asocian la síntesis con estequiometría, balance energético...; o retrosíntesis, síntón, equivalente sintético..., con coordenada de reacción, estado de transición, intermedio..., cuando es el mismo concepto el que engloba la reacción química con la síntesis en varios pasos y condiciona que ambos procesos sean reproducibles.

Salvo con Félix Serratos y más tarde con mi admirado amigo José Barluenga, me fue bastante difícil establecer un diálogo que me pudiera interesar en las reuniones con colegas españoles. Siempre estaban con prisas y no encontraban tiempo para hablar de química, ni siquiera para discutir sobre sus propios trabajos. Tuvieron que pasar dos y tres generaciones de profesionales con bagaje posdoctoral en el extranjero para que se atrevieran a hacer preguntas en las conferencias científicas.

Desencantado, aburrido y dando muchos tumbos: estructuras, síntesis de moléculas naturales y de modelos biológicos..., los primeros veinte años de vida como profesional de la investigación (72-92) transcurrieron sin demasiados aspavientos: colaborador científico del CSIC (1972), profesor agregado de universidad (1977), catedrático (1980), profesor de investigación del CSIC (1984). En este período de tiempo, las técnicas químicas de aislamiento y purificación de sustancias permitían la investigación de moléculas muy activas presentes en los sustratos en cantidades de nano-gramos. Las técnicas espectroscópicas resolvían también las estructuras de moléculas muy complejas con cantidades ínfimas de muestras. Nos interesamos en la ecología química marina y en las estructuras de las moléculas biodinámicas que sustentaban los equilibrios de la vida en el mar. En este campo encontré en España un alto nivel científico. El profesor Ramón Margalef, Catedrático de Ecología en la Universidad de Barcelona, colaboró con nosotros en la creación de los estudios de ciencias del mar en la Universidad de Las Palmas y en el entendimiento de la ecología a nivel molecular. Comenzamos a trabajar con

especialistas en biología marina, microbiólogos, farmacólogos, genéticos..., proyectos que se financiaron con fondos USA, Comité Conjunto Hispano-Norteamericano, en colaboración con la Universidad de Columbia (profesor K. Nakanishi) y de la Fundación Ramón Areces, en colaboración con el Instituto Español de Oceanografía, Centro Costero de A Coruña, para la investigación de las toxinas presentes en las rías gallegas. Los estudios biomédicos de algunas de las nuevas moléculas que aislamos del mar los realizó la firma farmacéutica Madaus (Colonia, Alemania). Tuve el honor de dar la conferencia de apertura en el Vth International Symposium on Marine Natural Products, París (1985). El chairman fue el profesor Derek Barton, el título “Syntheses of Marine Molecules”, un resumen de la misma se publicó: *Pure & Appl. Chem.* 1986, 58, 395-406.

En un proyecto que financió la Fundación Ramón Areces, nos interesamos en los poliéteres de origen marino, eso sí, tratando de no ser repetitivos en nuestra investigación y de evitar coincidir con planteamientos que otros hayan publicado en un campo que resultó ser muy competitivo (*Chem. Rev.* 1995, 95, 1953-1980, número especial dedicado a la “Synthesis of Biofunctional Molecules”). Los poliéteres constituían fantásticas estructuras con agrupamientos totalmente novedosos. La química sintética a nivel mundial se desvió a la preparación sintética de estas moléculas donde: Y. Kishi, en Harvard; K.C. Nicolaou, en Scripps; I. Paterson, en Cambridge; M. Hirama, Y. Yamamoto, en Sendai ; M. Isobe, Y. Mori, Nagoya; K. Tachibana, Tokyo,... son algunos de los protagonistas (*Tetrahedron* 2002, vol. 58, núm. 10, Symposium-in-Print Number 90 : “Synthesis of marine natural products containing polycyclic ethers”). Por primera vez me vi incómodo y atrapado en los esquemas que mi amigo, el ecólogo Carlos Herrera Maliani, profesor de investigación del CSIC (Estación Biológica de Doñana, La Cartuja, Sevilla) plasmó en los dos paneles que se presentan en la Figura 2. Un mismo insecto libando en distintas flores (*derecha*) y distintos insectos libando en la misma flor (*izquierda*). ¿Qué les recuerda? Pues, eso.

En España comenzó una época que me atrevería a definir de gloriosa. Nuevos químicos altamente cualificados surgieron a lo largo y ancho del territorio español. El impulso dado durante los gobiernos de Felipe González con planes nacionales de investigación puestos en marcha por científicos con responsabilidades políticas: Juan Manuel Rojo Alaminos, Alfredo Pérez Rubalcaba, Roberto Fernández de Caleyá, entre muchos otros, había dado sus frutos y la emergencia de la química puede calificarse de impresionante.

En España siempre se nada a contra corriente y no estoy seguro si el resurgir de la química no ha llegado un poco tarde y si los proyectos que se desarrollan en nuestro país están en la frontera del conocimiento. Las nuevas líneas de investigación que se abren sobre nanotecnología, biomedicina,... responden a propiedades que emergen de agrupaciones moleculares ¿son en realidad susceptibles de ser investigados bajo principios comprensibles desde la química tal como la entendemos? Hace años que intercambio estas ideas con químicos “maduros” como José Barluenga, José Elguero, Luis Castedo...; con investigadores más jóvenes como los colegas de Oviedo, José Manuel González, Al-



Figura 2. Lección de ecología: El mismo insecto visita diferentes flores (*Der.*). Diferentes insectos visitan la misma flor (*Izq.*)

fredo Ballesteros, Miguel Tomas.; los colegas sevillanos del instituto de La Cartuja, Pedro Nieto, Javier Rojo, José Luis de Paz, Jesús Angulo...; los compañeros de trabajo, Cirilo Pérez, Luz Cadenas, Francisco Pinto, Ricardo Pérez, Natalia Pérez... y Fernando García Tellado. Tienen ellos en común que alguna vez me contestan, lo que les agradezco.

La química, es una ciencia experimental y a diferencia de la física que se rige por “leyes”, se sustenta en “reglas empíricas”. La experimentación hace que las propiedades que se interpretan en la química a nivel molecular sean extrapolables al mundo macro. Es posible diseñar proyectos basados en conceptos establecidos por la química a nivel molecular para generar, por ejemplo, nuevos comportamientos en el mundo macro, lo que no siempre es posible en física. Los mismos físicos no están seguros sobre el resultado cuando se quiere experimentar a pequeña escala sobre conceptos que su teoría predice, el bosón de Higgs puede ser el ejemplo más reciente. Se me ocurre otro ejemplo que involucra a un joven físico tinerfeño, Carlos Untiedt (Universidad de Alicante) que investiga como metales considerados esencialmente magnéticos (hierro, cobalto, níquel..) pierden sus propiedades y dejan de serlo en la escala nano (*Nature*, 2009, 458, 1150-1153). Puede ser la química la ciencia que explique el comportamiento de las agrupaciones moleculares considerando las bases termodinámicas que las sustentan.

La física-, química- y mecánica-cuántica y -estadística, han sido la base para el desarrollo de métodos híbridos

cuántico-estadísticos, herramienta que bajo la denominación de química teórica y computacional se ha introducido para “comprender los sistemas químicos partiendo de su composición íntima”, con resultados que son “fuente de inspiración para la química y bioquímica experimental”. (Premio Nobel de Química, 2013). Las preguntas son ¿Es que no puede haber un método alternativo o, al menos, complementario al teórico, que permita profundizar en la investigación del “mecanismo” del reconocimiento molecular?. ¿No podría englobarse todo el proceso en una hipotética coordinada de reacción y evaluar el consumo energético del mismo? ¿Cómo diferenciar la contribución energética de cada uno de los participantes? En cada instante de un proceso biológico los valores de entalpía y entropía fluctúan aunque se mantienen compensados siguiendo una coordinada energética de evolución del proceso. Es la *causa* de que el caos no tenga lugar y el proceso sea reproducible. ¿Podría este fenómeno cuantificarse?

## LOS ÚLTIMOS VEINTE AÑOS

Pasé los segundos veinte años de vida activa (1992-2012), trabajando sobre una conjetura que no sé de nadie que la haya expresado: “Si la vida en su forma unicelular y más simple comienza en el agua, para evolucionar, en o fuera del agua, hacia una estructura pluricelular más complicada, será necesario para mantener la vida que el agua se dis-

tribuya por todo el material biológico, por lo que los poros o canales de agua son resultado de la evolución". La vida surgió en sus formas más simples del agua y es la evolución a formas más complejas y/o la adaptación al hábitat terrestre la causa de que para sostener las "nuevas" estructuras biológicas sea necesario hacerla circular por todo el organismo. Lo poros y canales de agua son pues consecuencia de la evolución y por ende el agua protagonista principal de tal acontecimiento.

La conclusión a que da lugar este razonamiento es que, efectivamente, el material biológico emerge como consecuencia de la evolución del equilibrio químico/termodinámico entre el agua y una selección de moléculas orgánicas (biopolímeros). El agua es pues, protagonista activo del proceso biológico y no juega el papel pasivo que, las más de las veces, se le considera. Siguiendo un razonamiento abductivo y considerando el agua y los principios termodinámicos que rigen los equilibrios, diseñamos una familia de moléculas que sintetizamos y comprobamos experimentalmente que algunos de sus miembros se estructuran en membranas lipídicas y en el estado sólido formando poros donde el agua se mueve en su interior (*J. Am. Chem. Soc.*, 2001, 123, 11970-11981). Estudiamos sus propiedades (*J. Phys. Chem. C*, 2012, 116, 9616-9630). Pudimos comprobar que la estructura (dinámica) del agua contenida era función del diámetro del poro. Y aquí nos quedamos, no pudimos cuantificar nada más allá de los resultados estequiométricos que nos permitió la química, por lo que nuestro razonamiento y modelo resultaron inadecuados para abordar y cuantificar el problema termodinámico que nos habíamos propuesto y que podemos resumir en: ¿Por qué un "polímero" emerge como "biopolímero" en presencia de agua?

Me encontraba ya rompiendo papeles y seleccionando los documentos que me podía quedar, cuando leí la publicación de George Whitesides que estaba esperando. A modo de despedida elaboré el escrito que incluyo a continuación y lo envié a mis asiduos contertulios:

Sevilla, 23 de noviembre de 2013

Estimado amigo:

De Woodward a Whitesides.

George Whitesides ha publicado un artículo de referencia: *J. Am. Chem. Soc.*, 2013, 135, 15579-15584. A continuación resumo mi parecer de la investigación que se incluye en el trabajo que te adelanto considero excepcional.

La publicación de Whitesides consiste en la investigación de principios básicos que configuran el reconocimiento molecular usando un modelo de interacción proteína/ligando. Se trata de un trabajo experimental que se inicia con la rigurosa selección del modelo y adaptación del proceso "biológico" al fin que se pretende investigar. Se selecciona un modelo que evoluciona sin cambios apreciables de conformación de los ligandos y de la proteína, y se investiga la adaptación del ligando al centro activo y al compromiso de interacciones químicas estabilizadoras y desestabilizadoras. Se cuantifica la energía libre del acomodo proteína y ligando y observa que se mantiene prácticamente constante con independencia del ligando que se investigue, por lo que los cambios de entalpía/entropía

asociados a cada adaptación ligando/centro activo, ha de manifestarse e identificarse con cambios estructurales del agua testigo del proceso. El resultado de esta experiencia termodinámica queda cuantificado en la gráfica que se muestra en el sumario del trabajo y demuestra, por primera vez de forma experimental, cómo se refleja en la estructura y dinámica del agua la necesaria compensación entalpía/entropía que condiciona cada proceso reversible.

Considero que este trabajo, tal cual está e incluyendo el material suplementario, por su rigurosidad tanto en el planteamiento como en la ejecución, debería incorporarse a los libros de texto y poner en conocimiento de alumnos de ciencias experimentales. Los principios que se estudian son base del comportamiento entre moléculas con independencia del tamaño y consideración (ligando, proteína, disolvente...). Hace coincidir la biología y la química en el marco de la termodinámica, a la vez que homologa conceptos tales como "reactividad" y "emergencia". Profundizar en los conceptos que se acumulan en esta investigación hará que todo lo que se pueda en el futuro escribir sobre el tema resulte consecuente con los principios que rigen los procesos y visualizan en la publicación de Whitesides.

No te hagas la ilusión de ver en la publicación referida un "milestone" en la Ciencia. Igual que la síntesis de la reserpina de Woodward fue en su día valorada sólo por algunos investigadores interesados en los fundamentos de la construcción molecular. Todo lo que vino después: diseño, retrosíntesis, control, inducción, funcionalidad, protección..., aunque conceptos carentes de originalidad, fueron los argumentos compartidos y, aún hoy día, celebrados por la gran mayoría de los químicos orgánicos.

La publicación de que hablamos interesa a quienes se preocupan por los fundamentos de la química y biología como Ciencia. Whitesides probablemente será premio Nóbel como lo fue Woodward, pero por las muchas otras razones que acumula de mayor interés económico. Este trabajo es de ciencia básica y permite experimentar en el futuro sobre lo que hasta ahora han sido hipótesis de trabajo y abre puertas a investigaciones mucho más profundas. Minimiza el interés en objetivos largamente perseguidos al tiempo que abre nuevas vías de estudio. Por ejemplo, simetría vs equilibrio, concepto que puede ser investigado una vez se conoce el comportamiento entre las moléculas y sobre el que se ha de profundizar antes de plantearse, por ejemplo, la síntesis en biología o de especular sobre cuestiones fundamentales como el origen de la vida.

Sobrarán en química experimental: proyectos, conceptos, principios, definiciones,... incluso muchas de las palabras originadas en la intención de dar sentido a lo que no tenía explicación. Se ganará en racionalidad y sencillez. Espero que, al menos en eso, se note.

¿Dónde queda el concepto llave/cerradura referido al comportamiento entre biopolímeros, enzima /sustrato, proteína /ligando? ¿Qué es ahora el efecto hidrofóbico? ¿Química supramolecular?

En la investigación que me concierne, considero que la síntesis de modelos de poros es el camino para entender el comportamiento del agua que se encuentra en el interior de los mismos. Estos modelos permiten variar las características de las superficies internas de los poros y estudiar con toda rigurosidad las particularidades de la estructura y dinámica de las moléculas de agua que se albergan en el interior. La

construcción de estos poros es resultado de un equilibrio termodinámico, por lo que la estructura y dinámica del agua contenida consecuencia de la compensación entalpía/entropía (manifestación de la simetría) del sistema. Esta es la hipótesis de trabajo que la experimentación de Whitesides reafirma como única. Si es así, toda la investigación teórica que estudia el comportamiento del agua en nanoporos de carbono resulta inapropiada como modelo donde experimentar sobre el comportamiento del agua en los poros naturales. Es más, la investigación teórica de clusters de agua...¿qué sentido tiene en química experimental?. La estructura y dinámica del agua es una consecuencia del entorno (única hipótesis correcta) y no debe ser investigada como entidad independiente. El ejemplo evidente es el copo de nieve, resultado de continuos cambios de simetría que los hace “casi” simétricos y distintos entre sí. El “casi” es debido a que el ambiente exterior no es exactamente igual en el entorno en que ocurre el crecimiento del copo.

Con respecto al título y contenido de la primera parte de este escrito, ya me conoces, admiro y respeto la inteligencia. Pero si hay que poner nombres, permite que elija entre los que considero aportan ideas originales.

Un abrazo, Julio

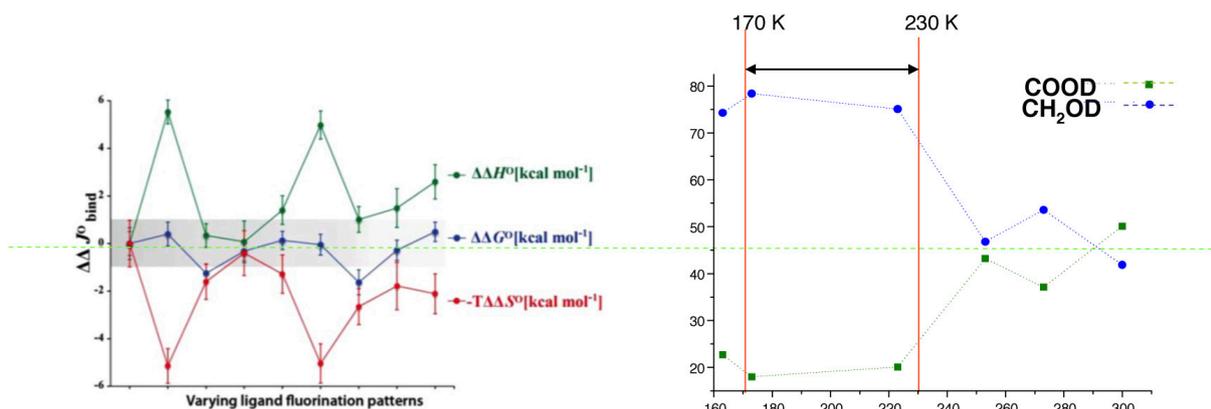
En la Figura 3 se dibujan dos esquemas que manifiestan correlaciones de simetría *vs* equilibrio, expresado como contribución de la compensación entalpía/entropía, en la adaptación proteína/ligando de Whitesides (*J.A.C.S.* 2013, 135, 15579, izquierda) o como cambios reversibles con la temperatura en la dinámica de las moléculas de agua y protones lábiles del compacto orgánico observada en nuestra investigación de modelos de poros hidratados (*J.A.C.S.* 2006, 128, 10008, derecha).

## A MODO DE CONCLUSIÓN

Cuando creía que la monotonía había hecho a la química aburrida y sólo útil como lenguaje a la hora de referir resultados a nivel molecular de científicos teóricos, médicos, genéticos y biólogos en general, o investigadores en nuevos materiales en el campo de la nanotecnología, publicaciones recientes nos muestran que algo cambia, lo que podrá ilusionar el futuro de los químicos experimentales en el siglo XXI. La fotografía de la Figura 4 se corresponde con el último día de trabajo en el laboratorio.

El inmenso trabajo de George Whitesides (*J. Am. Chem. Soc.*, 2013, 135, 15579-15584), en el que de manera experimental se cuantifica en el equilibrio químico la relación equilibrio/simetría como una compensación de los parámetros termodinámicos entropía y entalpía, coincide en el tiempo con la publicación de Makoto Fujita (*Nature*, 2013, 495, 461-466). Ambos trabajos tienen en común, además de ser espléndidas publicaciones experimentales de nivel básico, comprensibles y de fácil lectura para todos los interesados en la química sean o no especialistas, profundizan en el equilibrio químico como base conceptual que hizo que la Química haya evolucionado como Ciencia independiente. La relación entre las moléculas orgánicas y las bases termodinámicas responsables de tales equilibrios se manifiestan en ambas publicaciones de manera excepcional.

El trabajo de Whitesides ya lo hemos comentado, el de Fujita entretiene al lector con una selección de ejemplos de “nada por aquí, nada por allá” que muestran con ilusión la bondad de la novedosa metodología que se incluye en la publicación. En este caso, las moléculas se deslizan



Calculated mechanism of enthalpy/entropy compensation in protein/ligand binding

*J. Am. Chem. Soc.*, 2013, 135, 15579

Dynamic behavior of labile protons including water molecules in synthetic pores when temperature decrease from 300 K to 160 K

*J. Am. Chem. Soc.*, 2006, 128, 10008

Figura 3. Simetría y equilibrios termodinámicos



Figura 4. El 2010 fue el año de mi jubilación como químico experimental

y ocupan la oquedad de una estructura “esponja” manteniendo la simetría que la termodinámica impone.

En el trabajo de Whitesides la simetría del equilibrio se evalúa en la compensación entalpía/entropía que se manifiesta en las moléculas de agua, en la publicación de Fujita la simetría hace que las moléculas que se albergan lo hagan de forma idéntica con resultados susceptibles de ser observados por difracción de rayos-X. ¡Cuántos mitos hay que destruir!

Espero que publicaciones como estas hagan reflexionar a los químicos en el futuro, piensen en el tiempo perdido y en todo lo que aún queda por avanzar en Química básica hasta: “Hacer corresponder los fundamentos de la Química y los equilibrios que gobiernan la vida en nuestro planeta”.

Bobby Fischer fue el mejor jugador de ajedrez de todos los tiempos, su estrategia era simple, consistía en mover las piezas haciendo la mejor jugada posible. Eso es lo que pienso han sido los dos grandes químicos: Woodward y Whitesides. Sólo por haber sido contemporáneo de ambos y tenido la oportunidad de oírlos y disfrutar de sus trabajos, ha valido la pena. Woodward fue el que hizo que me dedicara a la investigación en química orgánica, Whitesides el que hace que, incluso después de jubilado, pueda seguir leyendo ideas originales en química.

JULIO DELGADO MARTÍN

Profesor de química retirado

Adeje (Tenerife), 21 de julio de 2015

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

## Percy Julian o el sueño americano

David Sucunza Sáenz

**Resumen:** Texto narrativo que tiene como protagonista al químico estadounidense Percy Lavon Julian (1899-1975), pionero de la síntesis total de productos naturales y la producción de hormonas esteroideas.

**Palabras clave:** Percy Julian, fisoligmina, síntesis total, productos naturales, hormonas esteroideas.

**Abstract:** Narrative that features the American chemist Percy Lavon Julian (1899-1975), pioneer of the total synthesis of natural products and the production of steroid hormones.

**Keywords:** Percy Julian, physostigmine, total synthesis, natural products, steroid hormones.

Percy Julian se encontraba en una situación límite. Su única oportunidad pasaba por lograr un descubrimiento que le destacase dentro del panorama químico del momento. Si no lo conseguía, su carrera como científico habría terminado. Y esa era la ambición que le había movido toda su vida, por lo que tenía que agarrarse a esta última ocasión como a un clavo ardiendo. Pero no le quedaba mucho tiempo. Sus superiores en la Universidad de dePauw lo habían dejado claro, debería abandonar la institución en cuanto agotase los fondos que había obtenido para iniciar su trabajo.

Su situación no era justa, desde luego. Pero, como cualquier negro nacido en Alabama en las postrimerías del siglo XIX, sabía que no habitaba en un mundo justo. No al menos con él. Luchaba en un país de blancos con reglas puestas por blancos. Si algo había aprendido en sus treinta y cinco años de existencia era eso. El sistema de segregación que imperaba en el sur de Estados Unidos por aquella época no dejaba lugar a dudas. De hecho, si echaba la vista atrás, perfectamente podía comparar su vida con una larga y extenuante carrera de obstáculos.

Nunca había tenido la oportunidad de seguir un camino expedito. Una y otra vez se había visto frenado por una sociedad llena de prejuicios. Desde su Montgomery natal, donde los negros no podían acceder a una educación superior y hasta las bibliotecas públicas les quedaban vedadas. Para qué, si estaban destinados a labores manuales. Menos mal que sus padres nunca habían pensado así. Él empleado de ferrocarriles, ella maestra, ambos se habían esforzado en conseguir que sus hijos complementaran en casa la modesta formación escolar que el estado estimaba suficiente para los de su raza. El pequeño Percy, además, mostraría siempre una brillantez singular. En él se auna-



Figura 1. Percy Julian (en los años 40)

ban talento y determinación. Unas cualidades que en los siguientes años habría de desarrollar al límite para obtener un doctorado en química orgánica, un éxito colosal para un nieto de esclavos.

No fueron pocos los obstáculos a los que se había enfrentado para alcanzar este logro. Pero todos los fue superando gracias a una perseverancia fuera de lo corriente. A pesar de no haber podido acceder al instituto, a los 17 años había conseguido una de las pocas becas que la Universidad de dePauw concedía a estudiantes negros. Allí cumpliría con la ardua tarea de compaginar sus estudios en la facultad con otros preparatorios en un instituto, además de trabajar para costearse su manutención. Un reto del que había salido airoso gracias a la misma voluntad inquebrantable de la que haría gala toda su vida y que iba acompañada de una ambición que ni de lejos se

© 2015 Real Sociedad Española de Química



D. Sucunza

Universidad de Alcalá  
Departamento de Química Orgánica y Química Inorgánica  
Edificio de Farmacia. Ctra. Madrid-Barcelona Km. 33,6  
28871, Alcalá de Henares  
C-e: [david.sucunza@uah.es](mailto:david.sucunza@uah.es)

Recibido: 17/06/2015. Aceptado: 30/07/2015.

vio colmada con un simple graduado. En dePauw, Julian había descubierto su vocación por la investigación química y hecho el firme propósito de no cejar en su empeño hasta obtener un doctorado.

Los prejuicios que despertaba su color de piel, sin embargo, limitaban sus posibilidades y había pasado dos años como maestro en una escuela para negros hasta encontrar una oportunidad, que finalmente llegó a través de una beca de la Universidad de Harvard. Todavía podía recordar la euforia del momento, no existía lugar mejor para iniciar una carrera científica. Poco podía imaginar en ese instante que unos meses después se vería obligado a cerrar en falso la experiencia. El motivo, demasiadas mentes bien pensantes no aceptaban que un negro fuese profesor de alumnos blancos. Y sin la posibilidad de ganar un sueldo como docente no había manera de cumplir su objetivo, por lo que había tenido que abandonar esta prestigiosa institución con tan solo una maestría.

Tardaría tres largos años hasta conseguir una segunda ocasión, esta vez gracias a una beca para estudiar en Europa de la Fundación Rockefeller. La disfrutaría en Viena, donde el nazismo todavía no había aparecido y su color de piel solo suponía una nota exótica. Allí, Julian había vivido algunos de sus años más felices, libre de prejuicios de raza que le impidiesen llevar una animada vida social y sobresalir en su trabajo. Tanto, que su supervisor en la universidad, el experto en productos naturales Ernst Späth, describiría más tarde al estadounidense como el doctorando más brillante de su larga carrera investigadora.

Y así, en 1931, el doctor Julian había regresado a Estados Unidos, dispuesto a enfrentarse de nuevo a las mismas barreras raciales que había dejado a su partida. Pero esta vez no iba a resultar fácil frenarle, la experiencia europea le había cargado de conocimientos y ánimos y no tenía ninguna intención de renunciar a su carrera científica. Este era el propósito con el que había aceptado su actual puesto de profesor asistente en la universidad de dePauw, si bien la triste realidad social de su país lo había vuelto a colocar en una situación comprometida. Como ya le había sucedido en Harvard, le habían prohibido impartir clases. La poderosa sección local de la Legión Estadounidense había presionado a sus superiores hasta conseguirlo. Por eso necesitaba significase como un investigador de prestigio, no se le ocurría otra manera de reforzar su débil posición dentro de la universidad. Estaba obligado a lograr un éxito de especial mérito. Y no había encontrado desafío más estimulante que realizar la primera síntesis de la fisostigmina, un alcaloide con importantes aplicaciones médicas e historia singular.<sup>[1]</sup>

Las primeras crónicas sobre el *Esere* databan de mitad del siglo XIX. Procedían de distintos misioneros de la iglesia presbiteriana de Escocia que divulgaron su buena nueva en el actual sureste de Nigeria. Allí, en la desembocadura del río Calabar, se extendía por aquella época una abigarrada área portuaria donde barcos ingleses y holandeses habían recalado con frecuencia en busca de aceite

de palma, igual que unas décadas antes lo habían hecho para comprar esclavos. Y como todavía su dominio colonial no estaba plenamente asentado, tanto unos como otros habían aparentado guardar pleitesía al reyezuelo de la zona, un déspota que, de acuerdo a las narraciones conservadas, administraba justicia entre sus súbditos mediante un irracional método de origen ancestral.

Varios europeos asistieron como testigos a estos juicios divinos. Sus relatos cuentan como los sospechosos condenados por brujería, una acusación habitual en un pueblo que creía su vida regida por ocultos poderes espirituales, eran obligados a ingerir varias semillas de una leguminosa tóxica, el *Esere*, que en Europa se conocería como haba de Calabar. El veredicto llegaba solo, si el amargor de los alcaloides de las semillas llevaba al reo a vomitar, éste se salvaba y era absuelto; si por el contrario no expulsaba las habas, el veneno hacía su efecto y la muerte evidenciaba su culpabilidad. A partir de este patrón común, los testimonios atestiguan la existencia de distintas modificaciones. En ocasiones, se aplastaban las semillas y se ponían en agua, utilizando la emulsión lechosa resultante. Otras, el proceso se realizaba a petición del propio sospechoso, que veía en esta prueba una manera de demostrar su inocencia. Incluso se habían utilizado en duelos, en los que cada contrincante debía comer una mitad de una misma haba y que perfectamente podían terminar con los dos adversarios muertos.



Figura 2. Haba de Calabar

La toxicidad del *Eseré* proviene del alcaloide fisostigmina, que es segregado por la planta para alejar a sus depredadores y al que, curiosamente, también se le habían descubierto diversos usos en medicina, desde su empleo como antídoto en intoxicaciones de sustancias con propiedades anticolinérgicas hasta el tratamiento del glaucoma. Aclaremos que éste no es un caso aislado.<sup>[2]</sup> Son varios los venenos tribales que han encontrado aplicación como fármacos. Por poner otro ejemplo, la tubocurarina presente en el temido curare, el tóxico que los indios de la Amazonía utilizan en sus cerbatanas y que mencionaron con pavor los primeros conquistadores españoles, ha sido utilizada como relajante muscular en anestesia. Un aparente contrasentido que se puede explicar acudiendo a la famosa sentencia del médico y alquimista suizo Paracelso “solamente la dosis hace al veneno”. Toda sustancia llega a ser dañina a partir de cierta cantidad y, al mismo tiempo, por debajo de ese umbral no solamente puede ser inocua sino también valiosa, como ocurre en estos casos.

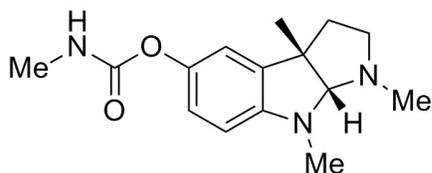


Figura 3. Estructura de la fisostigmina

Eso sí, ni todos los venenos tienen aplicaciones médicas ni el camino que lleva de un empleo a otro es trivial. En el caso de la fisostigmina, este trayecto se había completado gracias al tesón de un puñado de científicos tan brillantes como audaces.<sup>[3]</sup> Como Robert Christison, el médico escocés que había descrito los efectos tóxicos del haba de Calabar tras experimentar con ella en propia persona, o Mary Walker, que había descubierto que este alcaloide es un eficaz tratamiento contra la miastenia gravis a pesar del desdén de sus colegas masculinos. Julian, que también sabía lo que era sufrir los prejuicios de sus iguales, pretendía sumarse a esta distinguida lista. Su síntesis no solo serviría para ratificar definitivamente la estructura química de la fisostigmina sino también para desarrollar un método de obtención alternativo a la extracción de la fuente natural.

Se trataba, sin embargo, de un desafío superlativo que estaba requiriendo un esfuerzo igual de extremo. Además, su equipo de trabajo se reducía a dos personas, su fiel compañero de fatigas Josef Píkl, con el que colaboraba desde sus felices días en Viena, y él mismo. Ambos llevaban meses compartiendo interminables jornadas laborales que se extendían a los fines de semana. No les quedaba otra ya que, a la propia dificultad del proyecto y su comprometida situación en dePauw, había que sumar un hándicap añadido. No estaban solos en la carrera. Nada menos que el gran Robert Robinson, que dirigía en la Universidad de Oxford uno de los grupos de investi-

gación en química orgánica más pujantes del momento, perseguía el mismo objetivo. Y solo habría premio para uno, para el primero que culminase con éxito la síntesis del ansiado alcaloide.

Como dos grupos de alpinistas que encaran la ascensión a un mismo pico desde distintas caras, Julian y Robinson habían diseñado dos rutas sintéticas diferentes destinadas a finalizar en un mismo punto. Pero al contrario de los montañeros, ellos podían seguir las evoluciones de su contrincante. Los artículos que ambos científicos iban publicando con sus resultados preliminares les habían servido para vigilarse desde la distancia. Y daba la sensación de que el equipo británico estaba haciendo valer su mayor fuerza de trabajo. En su última comunicación, Robinson había descrito la síntesis del intermedio eserethol, lo que le situaba a tan solo dos pasos de la meta. Pero algo no cuadraba. Julian acababa de obtener ese mismo compuesto y sus propiedades físicas no coincidían con las descritas por su rival.

¿Qué estaba ocurriendo? Sólo había una respuesta posible, en algún punto de su ruta sintética uno de los dos grupos había obtenido un compuesto no esperado y había seguido adelante sin percatarse de que se estaba alejando del camino correcto. Un error que resultaba del todo comprensible, al fin y al cabo solo disponían de dos técnicas para elucidar la estructura química de los productos obtenidos, el análisis elemental, con la que deducían la fórmula molecular, y los ensayos de derivatización, con los que determinaban los grupos funcionales presentes en ella. El problema era saber quién de los dos se había equivocado.

Julian, que había realizado los ensayos de elucidación con sus propias manos, estaba convencido de la validez de sus datos. Tenían que ser los británicos los confundidos. Pero no lo sabría con certeza hasta finalizar la síntesis de la fisostigmina y comparar las propiedades físicas del compuesto obtenido con las del alcaloide extraído del haba de Calabar. Demasiado tiempo, no podía esperar tanto. E incluso aunque pudiese no tenía la menor intención de hacerlo. Necesitaba un golpe de efecto y por ello estaba a punto de jugarse toda su todavía incipiente carrera científica a una sola carta.

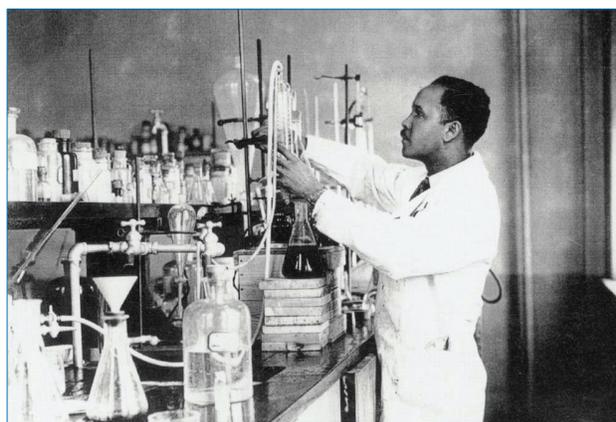


Figura 4. Percy Julian trabajando en su laboratorio

Antes de enviar su cuarta comunicación sobre la síntesis de la fisostigmina, Julian la revisó por última vez. En ella, describía su síntesis del intermedio eserethol y las discrepancias con los resultados de Robinson. Y no se había andado por las ramas:

“En una serie de diez excelentes artículos, Robinson y sus colegas han descrito las síntesis de dos compuestos, que denominan “*d,l*-Eserethol” y “*d,l*-Esermethol”. Sin embargo, su “*d,l*-Eserethol” no es el compuesto descrito en esta comunicación como “*d,l*-Eserethol”, cuya composición no admite dudas. Creemos que los autores británicos han cometido un error, el compuesto que reseñan como “*d,l*-Eserethol” no es la sustancia correcta y nosotros estamos describiendo por primera vez el verdadero “*d,l*-Eserethol”.<sup>[4]</sup>

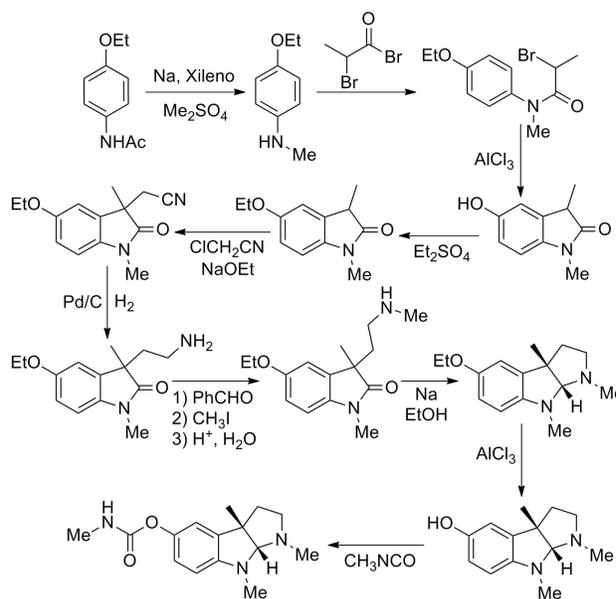
La suerte estaba echada. Si, como creía, estaba en lo cierto, su nombre reluciría como pocos en el panorama de la química orgánica del momento. Pero, si se equivocaba, habría cuestionado en falso resultados publicados por un científico de enorme prestigio y caería en el descrédito. Daba vértigo de solo pensarlo. Así que no lo hizo más, introdujo el manuscrito en un sobre y lo entregó para que fuese enviado a la sede de la *American Chemical Society*.

Las semanas siguientes fueron de enorme tensión. Julian confiaba plenamente en sus resultados pero sabía que siempre existe margen para el error. Y que este le saldría muy caro. Poco después de la publicación de su comunicación en el *Journal of American Chemical Society* recibió un telegrama de su antiguo supervisor en Harvard. Decía: “Rezo porque tengas razón. Te espera un negro futuro si no es así”.

Pero no habría de qué preocuparse. Julian y Pikel continuaron su trabajo hasta completar la síntesis de la fisostigmina y su producto fundió exactamente a la misma temperatura que el alcaloide extraído, prueba inequívoca de que se trataba del mismo compuesto químico. La carrera estaba ganada. Serían sus nombres los que figurarían como autores de la primera síntesis total de este producto natural, que publicaron en una quinta y definitiva comunicación en el *Journal of American Chemical Society*.<sup>[5]</sup> (Véase Esquema 1).

Laboratorios de todo el mundo enviaron telegramas de felicitación. Tal y como deseaba Julian, su logro le había aupado a la primera fila del escaparate científico del momento. Pero no le sirvió para continuar en de dePauw. Los gerifaltes de la universidad aplaudieron su éxito pero mantuvieron su decisión de no renovar el contrato. No había marcha atrás. Simplemente, la sociedad en la que vivían no admitía que un negro impartiese clases a alumnos blancos. Poco importaba la brillantez de Julian, se enfrentaba a un muro infranqueable. A pesar de haberse significado como uno de los químicos más talentosos de su generación, se veía expulsado del mundo académico para no volver jamás.

La síntesis total de la fisostigmina publicada en 1935 por Julian y Pikel figura hoy como un hito de la química



Esquema 1. Síntesis total de la fisostigmina de Julian y Pikel (1935)

orgánica.<sup>[6]</sup> En una época en la que no existían la mayoría de las técnicas de determinación estructural ni muchas de las reacciones utilizadas actualmente, constituye una de las primeras síntesis de una molécula compleja a partir de compuestos de partida simples. Un trabajo pionero que, no solo demostró el potencial de una disciplina científica que iniciaría su edad dorada una década más tarde, sino que, además, dio lugar a notables aplicaciones prácticas. Por ejemplo, posibilitó la obtención de análogos de este alcaloide, algunos de los cuales han acabado formando parte de nuestra farmacopea. La neostigmina, empleada contra la miastenia gravis, o la rivastigmina, que se ha mostrado eficaz en el tratamiento contra la demencia, se encuentran entre los más destacados.

Nuestro protagonista, sin embargo, se benefició poco de su éxito. Llegaría a ver su labor reconocida, pero para ello tuvo que esperar hasta el final de su carrera. Y mientras tanto, su vida siguió siendo un continuo porfiar en una sociedad que catalogaba a sus ciudadanos por el color de su piel. Muchas puertas se le cerraron por culpa de los prejuicios racistas. Como la de la compañía Dupont, que le llamó para una de las entrevistas de trabajo más cortas que se recuerda. “Lo siento, no sabíamos que era negro” se disculparon sus directivos al ver a Julian en persona.

No hablamos de un caso aislado, “nunca hemos contratado a un investigador negro, no sabemos si funcionaría” se convirtió en respuesta habitual a sus solicitudes de empleo en los meses siguientes a su salida de dePauw. Aunque siempre hay alguien capaz de ver más allá. En este caso se llamaba William J. O’Brien y ejercía como vicepresidente de la compañía Glidden, quien ofreció a Julian el puesto de director de investigación en su departamento de productos procedentes de la soja, situado en Illinois. Acertó de pleno. Durante los 18 años que pasó en

Glidden, Julian desarrolló más de 100 patentes, transformando su área en la más boyante de la empresa. Desde plásticos y pegamentos hasta aditivos alimentarios y comida para perros, multitud de productos derivados de la soja inundaron el mercado. También hormonas esteroideas, para las cuales Julian desarrolló un método de obtención a escala industrial a partir del producto natural presente en la soja estigmasterol.

Al fin, Julian veía como su esfuerzo redundaba en cierto reconocimiento y bonanza económica. Glidden ganó mucho dinero gracias a él pero también le pagó en consonancia, por lo que pudo mudarse con su mujer y sus dos hijos a un elegante suburbio a las afueras de Chicago, Oak Park. Un alto salario, sin embargo, no equivale a aceptación social y hubo quien no aceptó de buen grado su llegada a este exclusivo barrio. En pocas semanas, su vivienda sufrió un incendio provocado y una explosión causada por una bomba. Nada de eso le arredró, Julian residiría en Oak Park el resto de su vida.

Allí fundaría en 1953 los laboratorios Julian, iniciando así su carrera como empresario. Una arriesgada apuesta con la que buscaba centrarse en la producción de hormonas esteroideas, industria que vivía por aquel entonces sus años de máximo esplendor,<sup>[7]</sup> y que le obligó a abandonar Glidden y empeñar toda su fortuna, pero que se demostró totalmente acertada. Ocho años más tarde, GlaxoSmithKline compró su compañía por dos millones de dólares y le hizo millonario. Y, con este nuevo estatus, también llegaría un tardío reconocimiento del mundo académico, que le concedió diversos galardones. Pasados los sesenta años, Julian era un hombre rico y respetado, pero no por ello menos emprendedor. Gracias al dinero de la venta de sus laboratorios, acometería su última aventura, la creación del Julian Research Institute, una organización sin ánimo de lucro dedicada a formar a jóvenes químicos que dirigió hasta su muerte.

Percy Julian falleció en 1975 dejando una enorme huella tras de sí. A pesar de las enormes dificultades que se vio obligado a enfrentar, brilló en cada una de las empresas que acometió. Científico de prestigio, empresario de éxito, filántropo respetado, siempre lamentó no haber tenido la oportunidad de seguir su carrera científica de la manera que hubiese deseado, pero pocos químicos pueden presumir de una vida laboral más fructífera. Más aún, su lucha por ser valorado por sus méritos y no por su color de piel fue y sigue siendo un ejemplo para una sociedad que, en el curso de una vida humana, ha sabido evolucionar desde la segregación absoluta hasta la elección como máximo gobernante de un individuo de una raza que antaño fue vista como inferior.<sup>[8]</sup>

#### AGRADECIMIENTOS

El autor quisiera agradecer a Patricia Estevan sus lecturas críticas y a Eric Calderwood su ayuda con la traducción del texto extraído de la referencia<sup>[4]</sup>.



Figura 5. Sello estadounidense dedicado a Percy Julian.  
Fotografía: Arch. Soc. Esp. Oftalmol. 2012, 87, 197

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] (a) R. W. D. Nickalls, E. A. Nickalls, *Anaesthesia* **1988**, *43*, 776-779. (b) L. Spinney, *New Scientist* **2003**, *178*, 48-49. (c) A. Proudfoot, *Toxicol. Rev.* **2006**, *25*, 99-138.
- [2] M. Pijoan, *Offarm.* **2007**, *26*, 104-116.
- [3] S. Scheindlin, *Mol. Interv.* **2010**, *10*, 4-10.
- [4] P. L. Julian, J. Pikl, *J. Am. Chem. Soc.*, **1935**, *57*, 563-566.
- [5] P. L. Julian, J. Pikl, *J. Am. Chem. Soc.*, **1935**, *57*, 755-757.
- [6] *Synthesis of physostigmine*, National Historic Chemical Landmarks program, American Chemical Society, **1999** <<http://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/julian.html>>.
- [7] (a) *The 'Marker Degradation' and Creation of the Mexican Steroid Hormone Industry 1938-1945*, National Historic Chemical Landmarks program, American Chemical Society, **1999** <<http://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/progesteronesynthesis.html>>. (b) D. Sucunza, *Cabeza de negro, Naukas* **2014** <<http://naukas.com/2014/02/06/cabeza-de-negro/>>.
- [8] Para más información sobre la vida de Percy Julian: (a) B. Witkop, *Percy Lavon Julian, 1899-1975*, en *Biographical Memoirs*, vol. 52, The National Academy Press, Washington, D.C., **1980**. (b) B. Witkop, *Heterocycles* **1998**, *49*, 9-27. (c) *Documental Forgotten Genius* del canal PBS Nova, **2007** <<http://www.pbs.org/wgbh/nova/physics/forgotten-genius.html>>. (d) *Web Science alive! The life and science of Percy Julian* <<http://www.chemheritage.org/percy-julian/>>.

# Luz fría: ¿una bombilla dentro de la nevera?

Pilar Amo-Ochoa

**Resumen:** En conmemoración con el año 2015, “Año internacional de la luz”, escribimos un artículo didáctico y divulgativo basado en fenómenos luminiscentes, principalmente enfocado a profesores de enseñanza secundaria. Deseamos que conceptos como fluorescencia, fosforescencia, reacciones quimioluminiscentes, etc., lleguen a los estudiantes vía las tres grandes alternativas de la divulgación, “Los medios”, “la palabra escrita” y la “actividad científica presencial” en estrecha colaboración alumno/profesor. Incluimos también, sencillas, asequibles y novedosas **síntesis de nuevos** polímeros de coordinación monodimensionales fluorescentes de cobre (I) con isonicotinato de etilo e isonicotinato de metilo, enlazando estos materiales con sus posibles aplicaciones en el campo de fabricación de diodos.

**Palabras clave:** Luminiscencia, divulgación, fluorescencia, fosforescencia, polímero coordinación.

**Abstract:** To commemorate the 2015 “International Year of Light”, we wrote a dissemination and didactic article based on luminescent phenomena, mainly focused on secondary school teachers. We hope that concepts such as fluorescence, phosphorescence, chemiluminescent reactions, etc., reach students via the three great alternative dissemination, “Media”, “written word” and “attendance scientific activity” closely pupil / teacher collaboration. Also included, simple and affordable synthesis of new fluorescent one dimensional coordination polymers based on copper (I) with ethyl and methyl isonicotinate, linked to the use of these materials in the LEDs manufacture.

**Keywords:** Luminescence, disclosure, fluorescence, phosphorescence, coordination polymer.

## INTRODUCCIÓN

Hace 500 millones de años, la naturaleza ya jugaba con obtener luz de muy diversas formas y colores. Además de luz que a su vez genera calor; en los bosques; en los mares; tanto en zonas costeras, como en zonas abisales (a profundidades mayores de 2.000 metros en las que reinan presiones de más de 200 atmósferas, oscuridad total y temperaturas inferiores a los 5 °C), los hongos, las algas, las medusas, los peces... en íntima unión con proteínas y bacterias desarrollaban y desarrollan reacciones bioquímicas que permiten generar luz en ausencia de calor.

Plasmar en 8 folios estos 500 millones de años sería casi imposible, pero de conseguirlo podemos asegurar que sería altamente tedioso. Haciendo uso de la capacidad de abstracción que posee el ser humano, pretendemos escribir un artículo de divulgación científica, con la idea de que el profesor/a pueda con facilidad trasladar lo escrito aquí al laboratorio-taller del estudiante de enseñanza secundaria fomentando así el conocimiento y las vocaciones científicas.

Coincidiendo con el año 2015, “año internacional de la Luz”, nos centraremos en el concepto de luminiscencia.

Teniendo en cuenta que la naturaleza se tomó 4.000 millones de años de continuos cambios y evoluciones para conseguir *luz fría* (solo contando desde el origen de la tierra). No podemos menos que sentirnos grandes, si nues-

tros primeros atrevimientos comenzaron hace tan solo tres mil años, cuando plasmamos en poesía la belleza de las luciérnagas.<sup>[1]</sup> Conforme tomamos conciencia de nuestro poder fuera de los libros, osamos jugar con la alquímica y describir como ciertos minerales, podían “embeber” la luz del sol y después emitirla en la oscuridad, más allá, nuestra genialidad se representa en ilustres científicos como Wiedemann<sup>[2, 3]</sup> y en su acuñe del término luminiscencia (latín *-lumen-luz*) junto con sus grandes deducciones, al establecer una primera clasificación de este fenómeno, describiendo 6 tipos diferentes de luminiscencia dependiendo de cuál fuese el origen de la misma.

Y a pesar de no ser los autores de este genial invento, gracias a la ausencia de patentes por parte de la madre naturaleza y a nuestra capacidad de observación, deducción, trabajo... plagio..., nos encontramos que en la actualidad hemos descrito y generado, más de 15 tipos distintos de fenómenos luminiscentes... y la historia continúa...

Está claro que cualquier niño del mundo ha oído hablar de las luciérnagas y muy probablemente de los peces abisales. Si a alumnos de secundaria se les enseña un objeto que emite luz en la oscuridad, sin el apoyo de fuentes de corriente, es muy probable que lo reconozcan como un elemento fosforescente. Pero si preguntamos por una explicación científica de esto hecho, es casi seguro que no lo sabrán. Por lo tanto, los objetivos de este trabajo son: aportar ideas que el docente pueda utilizar fácil y cómodamente con el fin de enseñar a sus estudiantes el concepto de luminiscencia, y algunos de sus tipos; especialmente la *quimio* y *bioluminiscencia*; distinguir entre sustancias *fosforescentes* y *fluorescentes*; conocer las aplicaciones de estos fenómenos en nuestro entorno y su capacidad para crear riqueza; afianzar conceptos previamente adquiridos como, las radiaciones electromagnéticas, la luz visible y ultravioleta, longitud de onda, que los átomos pueden excitarse mediante el uso de este tipo de radiaciones, que la temperatura influye en la velocidad de las reacciones químicas, etc.

La divulgación científica puede realizarse de diversas maneras. En esta publicación se pretende unificar tres



P. Amo-Ochoa

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

Recibido: 22/06/2015. Aceptado: 21/07/2015.

importantes alternativas, “los medios” (ver referencias bibliográficas), “el trabajo escrito” y “la actividad presencial”, entendiendo que esta última debe ser de carácter obligado en la enseñanza de las ciencias, si queremos realmente que nuestros más jóvenes tomen partido por ella. Por ello, este artículo aporta experimentos e ideas que pueden trasladarse en la elaboración de un taller práctico para grupos reducidos de estudiantes, que podrían distribuirse en unas dos sesiones de una a dos horas de duración. La primera parte, se debe imaginar y realizar en la oscuridad haciendo uso de una presentación audiovisual en donde se exploran los conceptos teóricos con fotografías y ejemplos, acompañada a su vez de experimentos *in situ*. Durante todo el desarrollo, la participación alumno-profesor debe ser lo más activa posible. En la segunda parte describimos la síntesis de dos polímeros de coordinación fluorescentes por reacción química entre cantidades estequiométricas del yoduro de cobre (I) y del isonicotinato de etilo o de metilo en acetonitrilo a 25°C, que unifica la investigación más actual con este tipo de fenómenos y enlaza con una aplicación industrial muy importante, “los LEDs”.

## DISCUSIÓN

Las reacciones químicas normalmente transcurren con pérdida de calor y de luz, siendo las combustiones las más habituales. Esta emisión de energía se debe a que las moléculas se encuentran en estados de alta energía, poco favorables, y para llegar a un estado “más cómodo” liberan esa energía hacia el exterior. La energía emitida en una reacción química puede ser: calorífica y/o lumínica.

*Luminiscencia*<sup>[4]</sup> es todo proceso de emisión de luz fría, en el que la emisión de radiación lumínica es provocada en condiciones de temperatura ambiente o baja. Cuando un sólido recibe energía procedente de una radiación incidente, ésta es absorbida, excitándose la estructura electrónica de los átomos que lo componen. Estos electrones pasan a niveles de energía superiores y retornan posteriormente a su estado fundamental, emitiendo esta energía en forma de luz. En 1852, el físico inglés George Stokes<sup>[5]</sup> usando filtros y prismas demostró que la luz incidente de una región espectral era absorbida y transformada por el material en una luz emitida en una región espectral diferente, de distinta longitud de onda.

Dependiendo de la energía que la origina (según la forma de excitar al electrón), la luminiscencia recibe distintos nombres, como por ejemplo: *Quimioluminiscencia*, si es por efecto de una *reacción química*, o *Bioluminiscencia*, si es por efecto de *reacciones químicas biológicas*.

Si nos atenemos al *tiempo en que tarde en emitirse la luz después de la excitación*, (la emisión de luz tiene lugar a un tiempo característico ( $\tau$ ) después de la absorción de la radiación) la luminiscencia se puede clasificar en: *fluorescencia*, si el fenómeno es prácticamente *instantáneo* o *fosforescencia*, si es más *duradero*. El intervalo entre los dos pasos puede ser corto (menos de 0,0001 segundos) o largo (muchas horas). Si el intervalo es corto, el proceso se llama fluorescencia; si el intervalo es largo, el proceso se llama fosforescencia. En ambos casos, la luz producida es casi siempre de menos

energía, es decir, de longitud de onda más larga, que la luz excitante.

## Fluorescencia y Fosforescencia

Existen multitud de ejemplos de sustancias *fluorescentes*, una de ellas es la *proteína aequorina*,<sup>[6]</sup> (bioluminiscencia) encontrada en ciertas medusas, que produce luz azul en presencia de calcio y por lo tanto puede ser utilizada en biología molecular para medir los niveles de calcio de las células (Figura 1).

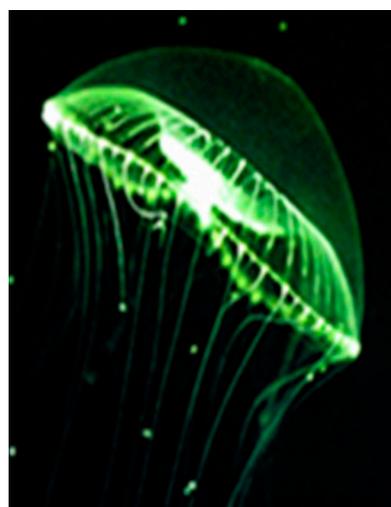


Figura 1. Medusa fluorescente gracias a la proteína aequorina

Otros dos ejemplos, realmente interesantes, son la *fluoresceína*,<sup>[7]</sup> y la *quinina*. La primera de ellas es una sustancia orgánica colorante perteneciente al grupo de las xantinas que produce un color fluorescente verde intenso en soluciones alcalinas (con pH mayor a 7). Cuando se expone a la luz, la fluoresceína absorbe ciertas longitudes de onda y emite luz fluorescente de longitud de onda larga. Es, asimismo, un colorante indicador ftálico que aparece de color amarillo-verde de la película lagrimal normal,

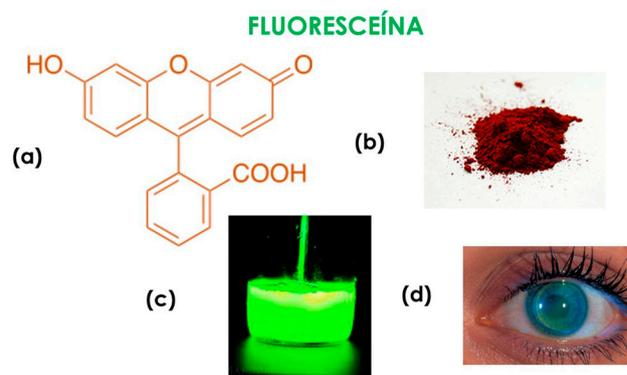


Figura 2. a) fórmula química de la fluoresceína, b) aspecto de la fluoresceína en estado sólido, c) disolución de fluoresceína fluorescente, d) aplicación de la fluoresceína en la detección de enfermedades oculares

y de color verde brillante en un medio más alcalino, tal como el humor acuoso, y por eso se usa terapéuticamente como una ayuda para el diagnóstico de las lesiones corneales y trauma corneal.<sup>[8]</sup>

La *quinina*,<sup>[9]</sup> C<sub>20</sub>H<sub>24</sub>N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> es un alcaloide natural, blanco y cristalino, procedente de la corteza del quino. Tiene un sabor muy amargo. Es un estereoisómero de la quinidina. Los nativos americanos lo utilizaban por sus propiedades curativas, antipiréticas, antipalúdicas y analgésicas. Se incorporó al acervo cultural europeo cuando fueron descubiertas sus propiedades antimaláricas.<sup>[10]</sup>

Los minerales son también una fuente de materiales que suelen presentar fluorescencia en el rango del visible. De las distintas especies minerales identificadas hasta el presente, alrededor de 500 de ellas presentan este fenómeno. De hecho, el nombre de fluorescencia viene del mineral fluorita cuya fluorescencia azul normal puede proceder de la presencia de materia orgánica o de iones de tierras raras.

Las sustancias *fosforescentes* tienen la propiedad de absorber energía y almacenarla, para emitirla posteriormente en forma de radiación. A aquellos elementos que ofrecen fosforescencia se les conoce como foto-reactivos, es decir que requieren luz para obtener la propiedad. El mecanismo físico que rige este comportamiento es el

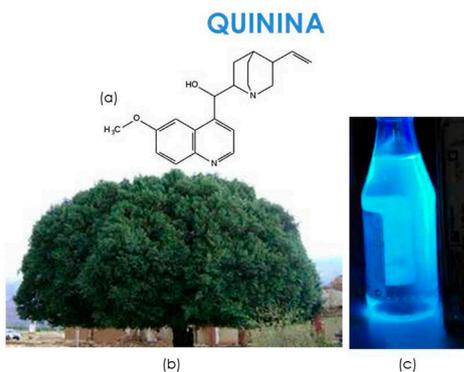


Figura 3. a) fórmula química de la quinina, b) imagen del Quino, árbol de cuya corteza se obtiene la quinina, c) bebida refrescante y fluorescente con quinina



Figura 4. a) Aplicaciones de la quinina en el tratamiento de la malaria, b) aplicaciones de la quinina en cosméticos

## Minerales FLUORESCENTES



Figura 5. Aragonito, mineral fluorescente

## SUSTANCIAS FOSFORESCENTES



silicato de calcio, sulfato de zinc, sulfato de cobre, etc...



Figura 6. Juguetes fosforescentes (arriba). Reloj con manecillas fosforescentes a), algas fosforescentes en un lago de Letonia b)

mismo que para la fluorescencia, no obstante la principal diferencia con ésta es que hay un retraso temporal entre la absorción y la reemisión de los fotones de energía. En la fosforescencia, las sustancias continúan emitiendo luz durante un tiempo mucho más prolongado, aun después del corte del estímulo que la provoca, ya que la energía absorbida se libera lenta (incluso muchas horas después) y continuamente.

Este fenómeno es aprovechado en aplicaciones tales como la pintura de las manecillas de los relojes, o en determinados juguetes que se iluminan en la oscuridad. No obstante, una de sus aplicaciones más conocidas es el empleo de materiales fosforescentes en los monitores y televisores basados en un tubo de rayos catódicos. En esta tecnología se emplea un haz de electrones que va realizando un barrido de la pantalla con una frecuencia



Figura 7. Ejemplos de seres vivos bioluminiscentes: luciérnagas, hongos, peces abisales

típica de 50-60 Hz. La pantalla está recubierta de material fosforescente, lo que permite la persistencia de la imagen entre barridos sucesivos.

Una vez explicados estos fenómenos, los alumnos pueden prepararan disoluciones de fluoresceína y quinina (tónica), (ver materiales y métodos) y estudiarán minerales como el aragonito, etiquetas, objetos fosforescentes y rotuladores marcadores. Estas sustancias y materiales serán sometidos a una fuente radiación luminosa (luz visible o ultravioleta), observando lo que ocurre. Posteriormente apagarán la fuente de emisión luminosa y anotarán y discutirán lo observado.

### Quimio y Bioluminiscencia

La obtención de *luz fría* a partir de una reacción química es lo que se denomina *quimioluminiscencia*, si estas reacciones químicas tienen carácter biológico recurriremos al término *bioluminiscencia*. Algas, luciérnagas, hongos, medusas, peces abisales etcétera (Figura 7). El origen de su fluorescencia se basa en reacciones bioquímicas que se producen en su interior gracias a proteínas o bacterias.

El brillo azulado de los peces abisales es producido por miles de millones de bacterias bioluminiscentes, que habitan bajo su piel en un órgano llamado fotóforo (Figura 7). Las bacterias producen la luz por medio de reacciones bioquímicas; la luz permite a los peces abisales cazar, navegar, comunicarse y eludir a sus depredadores. A cambio, las bacterias tienen un hogar seguro, oxígeno y nutrientes provenientes de la sangre del pez. Sin un suministro continuo de oxígeno, las bacterias no podrían brillar.

Algunos científicos han propuesto otras ideas para la utilización de la bioluminiscencia en el futuro, por ejemplo, el árbol de navidad con luz propia. Sería interesante plantearse otros usos potenciales de este fenómeno natural.

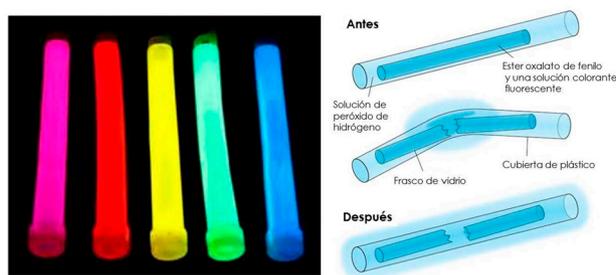


Figura 8. Funcionamiento de las barras luminiscentes

Como ejemplos llamativos y accesibles de reacciones típicamente quimioluminiscentes describimos dos, uno de ellos con barras luminiscentes comerciales y el otro con luminol.<sup>[11]</sup>

Las barras luminosas están formadas por un tubo cilíndrico de plástico que contiene una mezcla de oxalato de difenilo y un colorante (que da a la barra su color). En el interior del tubo de plástico hay un pequeño tubo cilíndrico de vidrio que contiene peróxido de hidrógeno. Cuando el tubo exterior de plástico es doblado, el tubo de cristal interior se rompe, liberando el peróxido de hidrógeno e iniciando una reacción química que produce luz (Figura 8).

Las reacciones químicas en general y por supuesto las quimioluminiscentes, dependen de la temperatura. La reacción se acelera a medida que aumenta la temperatura. Los estudiantes pueden doblar tres barras luminiscentes, una en agua caliente, otra a temperatura ambiente y la tercera en una mezcla de hielo y sal a unos  $-10^{\circ}\text{C}$ . Con la primera observarán un brillo fantástico, pero que no durará tanto como la expuesta temperatura ambiente. ¿Qué es lo que observan con la barra rota a  $-10^{\circ}\text{C}$ ?

La velocidad de la reacción disminuye a bajas temperaturas; es por esto que mantener las barras luminosas en el congelador durante varias horas puede permitir que la barra brille de nuevo cuando se calienta, después de que hubiera dejado de brillar. La reacción no se detiene por completo en el congelador, pero es tan lenta que el brillo es apenas perceptible.

Este experimento puede realizarse de manera opcional, pero mucho más llamativa, utilizando nitrógeno líquido con el fin de casi paralizar la reacción química a temperaturas cercanas a los  $-195^{\circ}\text{C}$ .<sup>[12]</sup> En este caso, el profesor, sumergirá las barras luminosas en nitrógeno líquido (este es un buen momento para introducir, las propiedades del nitrógeno líquido, su procedencia y su forma de obtención...). Los alumnos podrán deducir lo que va a ocurrir después de haber realizado sus experimentos previamente.

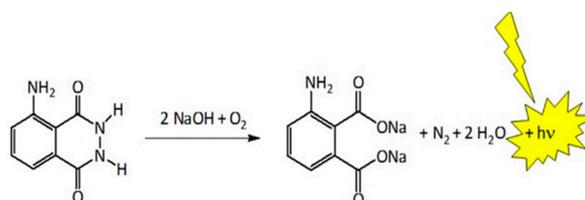


Figura 9. Reacción quimioluminiscente entre el luminol en medio básico y el oxígeno



Figura 10. Aplicación de disoluciones básicas de luminol en ciencia forense para detectar rastros de sangre

Una de las sustancias más empleadas para realizar reacciones luminiscentes es el luminol (descubierto por Albrecht en 1928)<sup>[13]</sup> y del que inmediatamente empezaron a publicarse artículos de educación y divulgación (año 1934). El luminol (3-aminoflatohidracida) produce quimioluminiscencia por oxidación en disolución básica y con la acción de un catalizador, según la reacción siguiente:

Es una herramienta muy utilizada en la investigación forense<sup>[14]</sup> ya que puede revelar en disolución, con un oxidante, hasta los restos más ínfimos de sangre (luminol mezclado con  $H_2O_2$ ). Las reacciones con luminol requieren un catalizador. En el caso de la sangre, el hierro de la hemoglobina es un poderoso catalizador, por lo que la "zona sangrienta" se iluminará de un resplandor azul durante unos 30 segundos (Figura 10). En este trabajo, lo que llamamos luminol es en realidad una mezcla de: luminol (3-aminoflatohidracida),  $Na_2CO_3$ ,  $(NH_4)_2CO_3$  y  $CuSO_4 \cdot 5 H_2O$ , o Luminol en medio básico (ambas disoluciones producen un destello azulado, de corto período de duración). También tiene aplicaciones en la detección de agua oxigenada en el agua o en medicina general, para investigar la presencia de óxido nítrico en los gases exhalados de enfermos asmáticos.

### Polímeros de Coordinación Luminiscentes y LEDs

En la segunda parte de este artículo proponemos un apartado de química actual y completamente inédito<sup>[15]</sup> basado en unas síntesis sencillas de polímeros de coordinación monodimensionales<sup>[16]</sup> de cobre en estado de oxidación (I) con una configuración electrónica  $d^{10}$ <sup>17</sup> que presentan propiedades fluorescentes (Figuras 11, 12 y 13). Esta propuesta se basa en la gran cantidad de estudios de investigación recientes que buscan entender la relación entre los componentes de un polímero de coordinación y sus propiedades luminiscentes con el objetivo de fabricar materiales con aplicaciones en diodos emisores de luz (LED)<sup>[17]</sup> para entender la importancia de este tema, no es

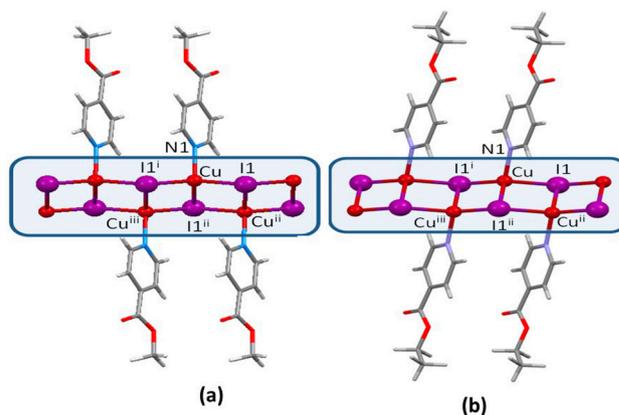


Figura 11. a) Estructura del polímero de coordinación monodimensional de Cu(I) con el isonicotinato de metilo (MeIN) de fórmula  $[Cu(MeIN)]_n$  b) Estructura del polímero de coordinación monodimensional de Cu(I) con el isonicotinato de etilo (EtIN) de fórmula  $[Cu(EtIN)]_n$

necesario más que mencionar que Alfred Werner recibió el premio Nobel de Química por su teoría de la química de coordinación (1913) y que el pasado 7 de octubre del 2014, los japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura, fueron distinguidos con el Premio Nobel de Física, por inventar estos dispositivos emisores de luz.

Las síntesis de un solo paso, a  $25^\circ C$  y en condiciones ambientales,<sup>[15]</sup> permitirán a los alumnos adentrarse en la investigación más novedosa. Además, los compuestos sin-

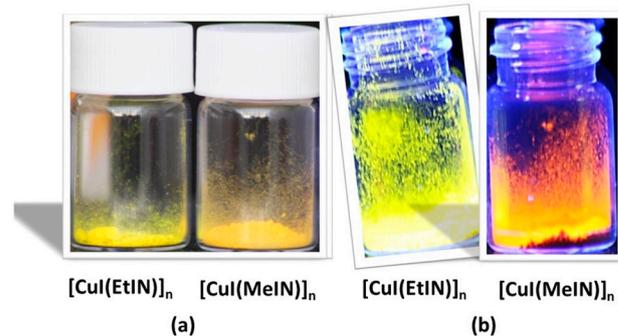


Figura 12. a) Polímeros de coordinación  $[Cu(EtIN)]_n$  y  $[Cu(MeIN)]_n$  bajo luz visible b) Fluorescencia mostrada por estos compuestos cuando son expuestos a la luz ultravioleta

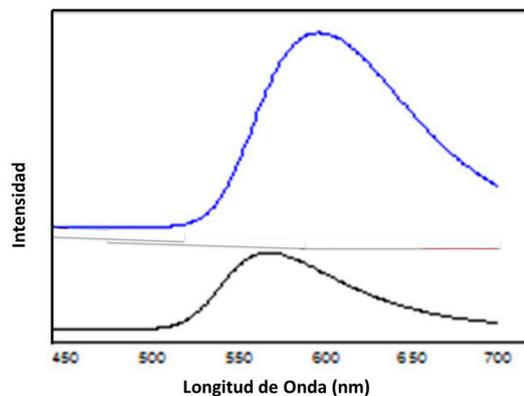


Figura 13. Espectros de emisión de los compuestos  $[Cu(EtIN)]_n$  (negro) comparado con el del  $[Cu(MeIN)]_n$  en azul

tezados presentan enormes similitudes en su estructura (cambiaremos un grupo metilo por un etilo) y, sin embargo, ese pequeño cambio produce grandes variaciones en sus propiedades luminiscentes.

Estos compuestos son dos polímeros de coordinación monodimensionales de doble cadena, donde los átomos de cobre en estado de oxidación uno, están conectados a través de átomos de yodo (yoduros) que actúan como ligandos puentes. Cada cobre se rodea de tres yoduros y un isonicotinato de etilo/metilo que coordina al cobre a través del átomo de nitrógeno del grupo piridínico (Figura 11). Cuando estos compuestos son excitados a 25°C, con una radiación ultravioleta de longitud de onda  $\lambda = 380$  nm producen una fuerte emisión de luz amarilla a 567 nm (compuesto con isonicotinato de etilo) y de luz naranja a 585 nm (isonicotinato de metilo) (Figuras 12 y 13). Estos sencillos experimentos los realizarán los estudiantes en presencia de la lámpara de UV utilizada en la sesión anterior.

Las propiedades de emisión de los polímeros de coordinación están generalmente controladas por un gran número de factores, incluyendo propiedades electrónicas del ligando y del ión metálico y longitud de los enlaces de coordinación.<sup>[18]</sup> Para saber a qué pueden ser debidas estas emisiones a 567 nm para el  $[\text{CuI}(\text{EtIN})]_n$  y 585 nm para el  $[\text{CuI}(\text{MeIN})]_n$  se compara su espectro con el del ligando libre (isonicotinato de etilo (EtIN) o isonicotinato de metilo (MeIN)). Los ligandos no presentan luminiscencia (presentan tres bandas muy débiles por debajo de 500 nm), esto hace pensar que las bandas de emisión que presentan los compuestos a 567 y 585 nm, respectivamente son debidas a una transición de transferencia de carga entre el yodo y el cobre presentes en los polímeros (Figura 13).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Tabla 1.** Reactivos y material necesario para la realización de los experimentos

Material	Reactivos	Reactivos
Lámpara UV	Fluoresceína	CuI
3 vasos de precipitados de 250 mL	Aragonito u otros minerales fluorescentes	Isonicotinato de Etilo/Isonicotinato de Metilo
Dewar	Tónica	NaOH
Objetos fosforescentes	Barritas luminiscentes	$\text{CH}_3\text{CN}/\text{EtOH}$
Espátula, placa filtrante, viales 20 mL/. Probeta 15-20mL.	Nitrógeno líquido (opcional)/ Hielo/ NaCl	Lejía. $\text{H}_2\text{O}_2$ (30%)
Balanza	Luminol	
Papel pH (opcional)		

### Disolución de fluoresceína

Se puede suspender unos miligramos de esta sustancia en unos 25 mL de agua. También se puede alcalinizar esta disolución hasta pH 7 con una disolución 0.1 M de NaOH.

### Reacción Quimioluminiscente del luminol en presencia de un agente oxidante

Se preparan dos disoluciones:

- Disolución A: 100 mg de Luminol y 4g de NaOH en aproximadamente 1L de agua.
- Disolución B: 10% de lejía comercial en agua.
- Un recipiente para hacer la mezcla.
- La disolución B, puede realizarse también con a) 10 ml de peróxido de hidrógeno al 30% en 490 ml de agua destilada, o b) ferricianuro potásico ( $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ) y peróxido de hidrógeno o agua oxigenada ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

*Nota:* Todas estas soluciones es conveniente mantenerlas refrigeradas.

#### Síntesis del $[\text{CuI}(\text{EtIN})]_n$

160 mg de Isonicotinato de etilo (EtIN) se añaden sobre una solución de 200 mg de Cu en 12 mL  $\text{CH}_3\text{CN}$  a 25 °C. De forma inmediata se forman cristales amarillos del polímero. La mezcla se filtra mediante una placa filtrante y los cristales se lavan con etanol, secándose al aire. El rendimiento es de un 72% (basado en el cobre).

#### Síntesis del $[\text{CuI}(\text{MeIN})]_n$

Sobre una suspensión de CuI (220 mg) en 15 mL de acetonitrilo, se añade isonicotinato de metilo (MeIN) (135  $\mu\text{L}$ ). De forma inmediata la disolución toma un color amarillo apareciendo un precipitado naranja. La mezcla se agita unos minutos y el sólido se filtra, lavándose con 10 ml de etanol y secándose al aire. El rendimiento es de alrededor de un 50% (basado en el Cu).

### Ciencia que se desarrolla en este trabajo

Los estudiantes de secundaria tienen asignaturas, como física y química en las que estudian y conocen conceptos como:

- Energía y Ondas.
- Materia y sus cambios: átomo, reacciones químicas, cálculos estequiométricos. Mezclas, sustancias puras, separación de mezclas.

Si el profesor decide elaborar una práctica relacionada con este trabajo, es aconsejable que los participantes estudien conceptos como: tipos de radiaciones electromagnéticas, la luz visible, luz ultravioleta y longitud de onda.

La cinética en las reacciones químicas, factores que afectan a la velocidad de las reacciones químicas.

Polímeros coordinación, compuestos cristalinos.

### CONCLUSIONES

Con este trabajo pretendemos contribuir en la tarea vital (de inmensa relevancia) de extender los conocimientos

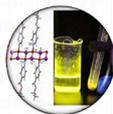
## AÑO INTERNACIONAL DE LA LUZ



Creación de Vocaciones Científicas



Estudiantes/Profesores



Luz Fría. ¿Una bombilla dentro de la nevera?

Esquema 1. Conexión de este trabajo con el "Año internacional de la luz" y la divulgación

científicos a audiencias no especializadas a través de palabras, imágenes y talleres (Esquema 1).

La ciencia no pasa de moda, la luminiscencia entre otros fenómenos naturales, existe desde hace millones de años y sigue manteniéndose en el candelerero. Cualquier oportunidad es única para hacer llegar a los más jóvenes que las radiografías de rayos X, tomografías médicas, las pantallas de su televisor y de su ordenador, los sistemas de protección de las tarjetas de crédito, lámparas fosforescentes etc., tienen como nexo común algún tipo de material luminiscente...

También queremos participar en este año conmemorativo de la luz, dando a conocer las innovaciones realizadas en materia de iluminación (LEDs) con implicaciones sociales importantes como la reducción en el consumo energético y en contaminación lumínica.

Proponemos la síntesis sencilla de dos polímeros de coordinación luminiscentes, económicamente viables y con una gran variación en la luminiscencia a pesar de poseer estructuras muy similares, lo que permite entender como pequeños alteraciones en los compuestos generan grandes cambios en sus propiedades.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradecen las subvenciones recibidas por la Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FCT-14-4488), la Real Sociedad Española de Química (Sección Territorial de Madrid), el Ministerio de Investigación y Ciencia MICINN (MAT2013-46753-C2-1-P y MAT2013-46502-C2-1 y 2-P) y la empresa NanoInnova Technologies ([www.nanoinnova.com](http://www.nanoinnova.com)). A los doctorandos Khaled Hassanein y Javier Conesa y a los profesores Félix Zamora, Oscar Castillo y Salomé Delgado por su trabajo en los compuestos presentados en este artículo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Libro de las Odas. Poemas de Shih Sanpai*. 1500-1000 a. C.
- [2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Eilhard\\_Wiedemann](http://en.wikipedia.org/wiki/Eilhard_Wiedemann)
- [3] <http://www.mcabiografias.com/app-bio/do/show?key=cascariolo-vincenzo>
- [4] <http://es.wikipedia.org/wiki/Luminiscencia>
- [5] B. D. Wilson, Kelvin and Stokes A Comparative Study in Victorian Physics, **1987**, ISBN 0-85274-526-5.
- [6] O. Shimomura, *Biol. Bull.*, **1995**, 189 (1): 1.
- [7] W. C. Sun, K. R. Gee, D. H. Klaubert, R. P. Haugland, *J. Org. Chem.*, **1997**, 62 (19) 6469.
- [8] N. El Harrar, B. Idali, S. Moutaouakkil, M. El Belhadji, K. Zaghoul, A. Amraoui, M. Benaguida, *Presse medicale* **1996**, 25 (32): 1546.
- [9] R. Joseph, Lakowicz. Principles of Fluorescence Spectroscopy 3rd edition. Springer, **2006**. Chapter 2. page 5.
- [10] A. Dorndorp, F. Nosten, K. Stepniewska, *Lancet*, **2005**, 366 (9487): 717.
- [11] E. Huntress, L. Stanley, A. Parker, *J. Am. Chem. Soc.*, **1934**, 56 (1): 241.
- [12] Videos Universidad Nottingham Prof. Poliakoff, relacionados con la cinética de las reacciones químicas y la temperatura.
- [13] <http://clickmica.fundaciondescubre.es/recursos/unidades-didacticas/33-unidades-didacticas/255-reacciones-luminiscentes>
- [14] a) J. Stuart, E. Paul, S. P. Sutton, *Principles of Bloodstain Pattern Analysis*. **2005** Boca Raton, London, New York, Singapore: Taylor and Francis Group. p.376. b) <http://cluster-divulgacion-cientifica.blogspot.com.es/2012/03/quimioluminiscencia-3-luminol.html>.
- [15] K. Hassanein, S. Delgado, O. Castillo, J. Conesa-Egea, S. Benmansour J. I. Martínez, G. Abellán C. J. Gómez-García, F. Zamora, and P. Amo-Ochoa, *Chem. Eur. J.*, **2015**, (aceptado).
- [16] Estructura polimérica que contiene un centro basado en un catión metálico unido a ligandos orgánicos, pueden extenderse en una, dos o tres dimensiones en el espacio.
- [17] (a) E. Cariati, X. H. Bu and P. C. Ford, *Chem. Mater.*, **2000**, 12, 3385. (b) D. M. Ciurtin, N. G. Pschirer, M. D. Smith, U. H. F. Bunz and H. C. zur Loye, *Chem. Mater.*, **2001**, 13, 2743. (c) F. Wurthner and A. Sautter, *Chem. Commun.*, **2000**, 445.
- [18] (a) H. A. Habib, A. Hoffmann, H. A. Hoppe, G. Steinfeld, C. Janiak, *Inorg. Chem.* **2009**, 48, 2166. (b) V. W. W. Yam, K. M. C. Wong, *Chem. Commun.*, **2011**, 47, 11579. (c) S. Soom-Min, J. H. Kim, J. Y.-Park, H. H. Le, *Applied Physics Letters*, **2005** 87, 183503. (d) E. Najafi, M. M. Amiri, E. Mohajenari, M. Janhouri, H. Razavi, H. Khavasi, *Inorg. Chem. Acta*, 2013, 339, 119725.

# El reactivo de Tollens: de la identificación de aldehídos a su uso en nanotecnología. Aspectos históricos y aplicaciones didácticas

Gabriel Pinto, Manuela Martín, José María Hernández, María Teresa Martín

**Resumen:** Se recoge una reseña biográfica del químico alemán Bernhard Tollens (1841-1918), donde se resalta su labor en el estudio de la estructura y el análisis de compuestos orgánicos. Se destaca también su ejemplar implicación en tareas docentes sobre química agrícola con estudiantes de muy diversos países. Se describen las características del reactivo que inventó, que lleva su nombre, y que al reaccionar con aldehídos proporciona una de las experiencias más vistosas de las prácticas de Química Orgánica de alumnos universitarios: la formación de un “espejo de plata”. Finalmente, se exponen ideas sobre la posible utilización (en investigación y en actividades educativas) del reactivo de Tollens para la obtención y caracterización de nanopartículas de plata, con importancia en distintas aplicaciones.

**Palabras clave:** Biografía de Bernhard Tollens, Identificación de aldehídos, Nanopartículas de plata, Nanotecnología, Reactivo de Tollens.

**Abstract:** A short biography of the German chemist Bernhard Tollens (1841-1918) is included, which highlights his works in the study of the structure and analysis of organic compounds. His exemplary involvement in teaching activities on agricultural chemistry with students from many different countries is also emphasized. The characteristics of the reagent invented by him, known by his name, are described. The Tollens' reagent reacts with aldehydes, providing one of the most attractive experience lab works of undergraduate students of Organic Chemistry: the formation of a “silver mirror”. Finally, suggestions about the possible use (in research and educational activities) of the Tollens' reagent for the preparation of silver nanoparticles with importance in various applications are discussed.

**Keywords:** Biography of Bernhard Tollens, Identification of aldehydes, Nanotechnology, Silver nanoparticles, Tollens' reagent.

## INTRODUCCIÓN

Si bien en los cursos introductorios de Química Orgánica se estudia el reactivo de Tollens por su aplicación en identificación de aldehídos, no suele ser suficientemente conocida la labor científica y pedagógica desarrollada por el químico alemán de quien toma el nombre. Hemos elegido este tema porque en su biografía queda claro que fue un profesor ejemplar, totalmente entregado a sus estudiantes, a quienes ayudaba de todas las formas posibles, y porque el “reactivo” que lleva su nombre sigue manteniendo actualidad, por ejemplo para su utilización en la síntesis de algunos nanomateriales, además de otras posibles aplicaciones didácticas.

Tras comentar de forma breve la labor docente e investigadora de Bernhard Tollens, se describen las características del reactivo que inventó, y que al reaccionar con aldehídos proporciona una de las experiencias más vistosas de las prácticas de Química Orgánica de alumnos universitarios desde hace generaciones: la formación de un “espejo de plata”. Por último, se exponen algunas ideas sobre la posible utilización del reactivo para preparar nanopartículas de plata, con la consiguiente importancia para distintas aplicaciones.

## BIOGRAFÍA DE BERNHARD TOLLENS

Buena parte de la información recogida en este epígrafe procede de lo descrito por uno de sus estudiantes, el norteamericano C. A. Browne, en un trabajo realizado con motivo del centenario del nacimiento de Tollens.<sup>[1]</sup>

Bernhard Christian Gottfried Tollens (Hamburgo, 1841-Gotinga, 1918), cuyo retrato se recoge en la Figura 1, estudió en el Colegio Johanneum de Hamburgo, donde recibió una importante influencia de su profesor de ciencias, Karl Möbius (1825-1908), que destacaría como investigador y profesor universitario de zoología (por ejemplo en la Universidad Humboldt de Berlín).

Después de cursar la carrera de Farmacia, Tollens se trasladó a Gotinga en 1862 para estudiar Química, en el laboratorio de Friedrich Wöhler (1800-1882), bien conocido por la realización de la síntesis de urea a partir de materia inorgánica y con otras importantes aportaciones a la Química, como el aislamiento de los elementos berilio y aluminio.



G. Pinto<sup>1,2</sup>

M. Martín<sup>1</sup>

J. M. Hernández<sup>1,3</sup>

M. T. Martín<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, 28006 Madrid.

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Salamanca, 37008 Salamanca. C-e: gabriel.pinto@upm.es

Recibido: 17/06/2015. Aceptado: 30/07/2015.



Figura 1. Fotografía de Bernhard Tollens. Fuente: Wikimedia Commons

En 1864 presentó su tesis doctoral sobre síntesis de homólogos del benceno, dirigida por Wilhelm Rudolph Fittig (1835-1910). Tras un breve período de medio año como farmacéutico y químico en una fábrica de bronce, trabajó como ayudante de Emil Erlenmeyer (1825-1909) en Heidelberg, y de Charles Adolphe Wurtz (1817-1884) en París.

Los trabajos que realizó en la capital francesa, principalmente sobre la síntesis del alcohol alílico (o 2-enol-propanol), le valieron para que le nombraran jefe del laboratorio de Química de la Universidad de Coimbra (Portugal) en 1869, puesto que abandonó a los once meses para volver a trabajar con Wöhler en Gotinga. En 1873 pasó a ser profesor del Instituto de Agronomía de esta ciudad, del que fue director y donde permanecería hasta su jubilación en 1911.

Este Centro era muy conocido, principalmente por los trabajos de Química Agrícola (especialmente en el campo de la alimentación animal) de Wilhelm Henneberg (1825-1890), discípulo de Justus von Liebig (1803-1873).

A las clases de Tollens asistían alumnos de la propia Universidad de Gotinga, sobre todo de los profesores Otto Wallach (1847-1931), de Química Orgánica, y de Walther Nernst (1864-1941), de Química Física. Pero también su laboratorio era muy cosmopolita; además de alemán, se hablaba inglés, francés, holandés, ruso y otras lenguas. En una fotografía con sus estudiantes de investigación se encuentran procedencias tan diversas como Alemania, Rusia, Japón, Estados Unidos, Holanda, Francia, Australia y Java (parte entonces de las Indias Orientales Holandesas).<sup>[1]</sup> Él hablaba con sus alumnos recién llegados en inglés o en francés, hasta que eran capaces de entender el alemán.

Los primeros estudiantes de Estados Unidos procedían del *Massachusetts Agricultural College* en Amherst, porque el profesor alemán Karl Anton Goessmann (1827-1910), discípulo también de Wöhler en la Universidad de Gotinga y que llegaría a ser el primer presidente de la *American Association of Agricultural Chemists*, fue profesor de ese Centro desde 1868 a 1908 y era el que establecía el contacto.

Además, y entre otras actividades, Tollens fue durante 21 años editor del *Journal für Landwirtschaft* (Revista de Agricultura).

Como profesor, destacó por su personalidad y su importante dedicación a sus alumnos. Según describe el Padre Vitoria, en una visita que le hizo, tuvo que esperar a ser recibido “pues estaba enseñando a un alumno a filtrar”.<sup>[2]</sup>

Ayudaba muchísimo a sus estudiantes. Les daba por escrito antes de la clase, con los medios más avanzados de aquellos tiempos, como eran la hectografía y el mimeografiado (ver ejemplo en la Figura 2), resúmenes y esquemas muy llamativos y didácticos de lo que iban a estudiar, como el recogido por Browne (Figura 3).<sup>[1]</sup>

Tollens era de baja estatura y por eso tenía una plataforma detrás de la mesa de demostraciones para que se le viera en las clases. Solía ir vestido de una manera muy formal y elegante al aula. Al concluir la clase, bajaba por una escalera privada al laboratorio y lo primero que hacía era cambiarse de vestimenta, para abordar el trabajo experimental.

Todos los años daba una conferencia sobre las excelentes propiedades del guano (abono natural preparado a partir de excrementos de aves y murciélagos, rico en nitrógeno, fósforo y potasio). Sobre la mesa ponía varios matraces llenos de este abono procedente de los Mares del Sur, así como aves disecadas, fundamentalmente pelícanos, que lo producían.

Ayudaba a los estudiantes a hacer esquemas de los temas, a llevar a cabo las operaciones de laboratorio y a múltiples tareas. Cuando publicaba algo, siempre figuraba en primer lugar el nombre del alumno que había colaborado.

Además de enseñar en sus clases y prácticas de laboratorio, realizaba con los alumnos visitas a distintas fábricas (de azúcar, cerveceras, destilerías, de almidón...) donde se aplicaba lo que estudiaban.

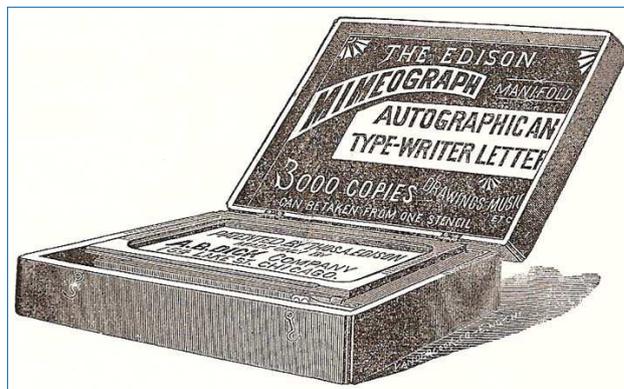


Figura 2. Anuncio del mimeógrafo de Edison de finales del siglo XIX para hacer copias en papel. Fuente: Wikimedia Commons

Los estudiantes del Instituto de Agronomía de Gotinga tenían un club, donde organizaban reuniones (frecuentemente acompañadas de bebida y tabaco) para tratar temas concretos. Antes de cada discusión, normalmente algún estudiante leía un artículo sobre el tema. Algunas veces Tollens, como otros profesores, se unía a ellos. Así, el 31 de julio de 1900 hubo una reunión para conmemorar el centenario del nacimiento de Wöhler al que asistieron entre otros Tollens, Nernst y Wallach. Entre chistes y canciones, Tollens comentó cómo los egipcios estaban familiarizados con distintas formas de nitrógeno porque no solo producían amoníaco en el templo de Amón sino que también hacían “algunos tipos de amidas” (*pyr-amids* en inglés y *pyr-amide* en alemán).

Como detalle curioso, aunque los estudiantes pagaban su matrícula en función de las materias que cursarían, cuando alguno dejaba de asistir durante un cierto período de tiempo, Tollens le devolvía en un sobre lo que correspondía a ese período.

Los años siguientes a su jubilación se dedicó a escribir artículos pendientes, a revisar su libro “*Kurzes Handbuch der Kohlenhydrate*” (Breve Manual de Hidratos de Carbono),<sup>[3]</sup> del que hizo una tercera edición, y a escribir obituarios de sus amigos. Durante los últimos años de su vida sufrió mucho por la Primera Guerra Mundial, falleciendo

el 31 de enero de 1918, antes de producirse la derrota de Alemania.

### ALGUNAS INVESTIGACIONES DE TOLLENS

Entre 1880 y 1907, según Heuser,<sup>[4]</sup> Tollens realiza varios trabajos intentando dilucidar la estructura de la celulosa sosteniendo, junto con Vignon, que se trataba de un compuesto único formado por diferentes unidades  $C_6H_{10}O_5$  de glucosa anhidra. Ya en 1880 afirmó que la celulosa se podría degradar a glucosa, al romperse los enlaces acetálicos. En 1895 publicó la fórmula de la celobiosa, que fue confirmada unos años más tarde por König y Skraup, y que sirvió como base para los estudios posteriores sobre la determinación de la estructura exacta de la celulosa.

Trabajó también en la determinación estructural de pentosas y pentosanas (polímeros de las pentosas). Entre 1888 y 1911 publicó diversos trabajos relacionados con este tema. En 1902 trató de determinar las propiedades de las pentosas por espectroscopía UV-Vis., mediante el derivado con floroglucina, que producía una banda de absorción, dando un color característico. Pero debido a la inestabilidad de la disolución formada no obtuvo buenos resultados.<sup>[5, 6]</sup>

### EL REACTIVO DE TOLLENS

Sin duda, el nombre de Tollens está asociado para la mayor parte de profesores y alumnos de Química Orgánica con el reactivo que recibe su nombre para reconocer los aldehídos. Apareció publicado en 1882 (ver Figura 4).<sup>[7]</sup> Su descubrimiento forma parte de sus trabajos de investigación para tratar de identificar compuestos químicos que obtenía a partir de árboles para utilizar en la alimentación del ganado, dentro de su labor en la Escuela de Agronomía.

El reactivo de Tollens tiene importancia desde el punto de vista didáctico no solo para identificación de aldehídos sino para el estudio de reacciones redox y, sobre todo, para que los estudiantes se den cuenta de que una forma de mantener los iones de plata en una disolución muy básica, para que puedan reaccionar con los aldehídos, es formando el complejo amoniacal. Para entenderlo, deberían escribir la reacción entre nitrato de plata e hidróxido de sodio en disolución acuosa, pues así precipitaría el hidróxido de plata (óxido de plata hidratado). Al tratarse de un sólido ya no estarían presentes los iones plata en disolución y se dificultaría la reacción con aldehídos.

También es relevante el reactivo de Tollens a nivel didáctico como un buen ejemplo de complejo, dado que se trata del catión diaminplata(I).

Como es bien sabido, el reactivo de Tollens no está disponible comercialmente, dado que se debe preparar *in situ* por su corta vida útil. Suele prepararse en dos pasos. En el primero, se adicionan unas gotas de NaOH diluido en disolución acuosa de nitrato de plata. Los  $OH^-$  del medio

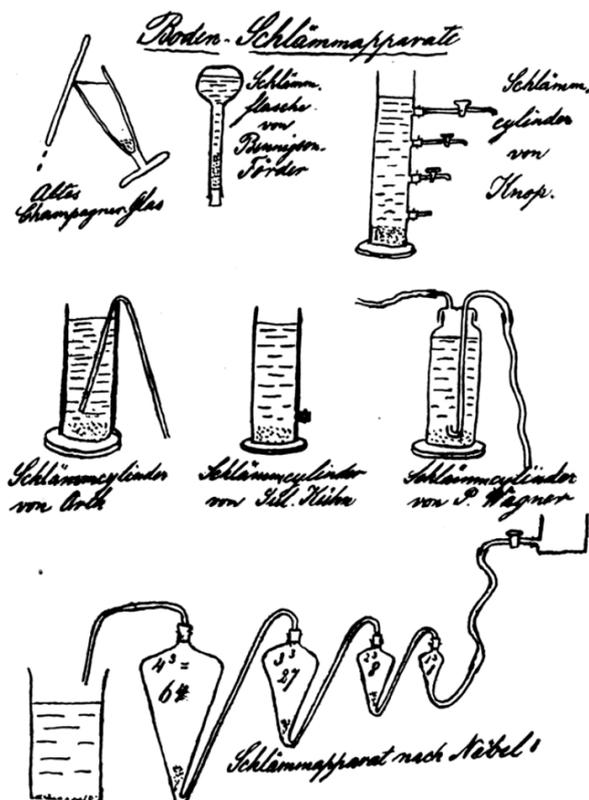


Figura 3. Dibujos de Tollens sobre aparatos de sedimentación para ilustrar una clase de edafología.<sup>[1]</sup> Adaptado con permiso del artículo: Bernhard Tollens (1841-1918) and some American students of his school of agricultural chemistry, C. A. Browne, *Journal of Chemical Education*, 1942, 19(6), 253

1635

**326. B. Tollens: Ueber ammon-alkalische Silberlösung als Reagens auf Aldehyd.**

(Eingegangen am 10. Juli; verlesen in der Sitzung von Hrn. A. Pinner.)

Vor einiger Zeit<sup>1)</sup> habe ich über einige Aldehyd-Reaktionen berichtet und mitgeteilt, dass die Empfindlichkeit der Reaktion des Aldehyds gegen Silberlösung gesteigert wird, wenn letztere nicht nur Ammoniak enthält, sondern auch noch fixes Alkali.

Ich habe diese Reaktionen weiter verfolgt und möchte als das Resultat zahlreicher an diesem Orte zu viel Raum einnehmender Versuche als für die Nachweisung der Gegenwart von Aldehyden sehr geeignet eine Lösung folgender Zusammensetzung angeben:

Man löse 3 g salpetersaures Silber in 30 g Ammoniak von 0.923 spezifischem Gewicht,

ferner 3 g Aetznatron-Stangen in 30 g Wasser, mische die beiden Lösungen und benutze sie nach einigen Tagen.

Das so bereitete Reagens bleibt in einer Stöpselflasche im Dunkeln bewahrt monatelang bis auf einen geringen krystallinischen Silberabsatz klar, beim Erwärmen trübt es sich jedoch.

Setzt man zu mässig verdünnten Aldehydlösungen einige Tropfen dieses Reagens, so entsteht je nach der Natur der Aldehydlösungen eine schwarze oder graue Abscheidung, welche mehr oder weniger spiegelt oder aber ein sehr schön glänzender Silberspiegel; in verdünnter Lösung tritt die Reduktion nicht sofort, wohl aber nach einiger Zeit ein.

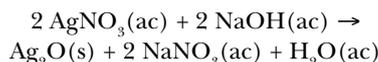
Grad der Verdünnung	Zeit bis zum Beginn der Reaktion	Reaktion nach Aufbewahrung im Dunkeln
1: 10 <sup>2)</sup>	} fast augenblicklich	Spiegel
1: 100		Spiegel
1: 1000	1/2 — 1/3 Minute	Spiegel
1: 10000	5 Minuten	grau, gelbbrauner Spiegel, bräunlicher Niederschlag
1: 100000	folgenden Tag beobachtet	brauner Niederschlag, Andeutung von Spiegel
1: 250000	» » »	Graue Abscheidung
1: 500000	» » »	Gelbgraue Abscheidung
1: 750000	» » »	Gelbe Trübung
1: 1000000	» » »	wenig trübe

<sup>1)</sup> Diese Berichte XIV, 1950.

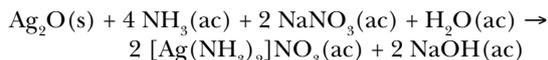
<sup>2)</sup> Die Zahlen bedeuten cem, das Aldehyd war kurz zuvor destillirt worden.  
105\*

Figura 4. Página inicial del artículo donde Tollens propone el uso de su conocido reactivo para identificar aldehídos. Fuente: Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft<sup>[7]</sup>

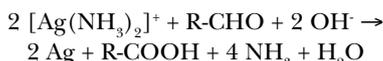
forman el óxido de plata(I), que precipita como sólido marrón, según el proceso:



En el siguiente paso, se añade suficiente amoníaco para disolver el óxido de plata(I):



La reacción que produce el reactivo de Tollens sobre un aldehído es:



Esta reacción resulta muy llamativa porque el tubo de ensayo u otro recipiente de vidrio donde se realiza se recubren de un “espejo de plata”.

Tiene como inconvenientes que debe de calentarse con cuidado, ya que se puede proyectar fuera del tubo de ensayo, y que los reactivos no se deben tener mezclados previamente, porque los compuestos amoniacales de plata a lo largo del tiempo pueden formar nitruros explosivos. En todo caso, después de haberlo hecho durante muchos años, repetidas veces, nunca hemos tenido problemas y podemos asegurar que es muy motivador para los alumnos por su vistosidad.

Como detalle histórico, cabe destacarse que la invención del espejo moderno se suele atribuir al químico alemán Justus von Liebig (1803-1873), que ideó en 1835 una técnica (que llegaría a ser comercial cuando la perfeccionó unos 20 años después) en la que se aplicaba una placa metálica sobre la parte posterior de un panel de vidrio por reducción química de la plata. Para ello, pulverizaba una disolución de diaminoplatá(I) con azúcar sobre la superficie de un vidrio.

Como ejemplo, para facilitar la realización de un espejo de plata, se resume el procedimiento que solemos seguir, empleando glucosa (contiene el grupo aldehído) que se oxida a ácido glucónico al reducirse la plata.

**Material necesario:**

Un matraz muy limpio de fondo redondo, disolución A de nitrato de plata(I) de concentración 25 g/L, disolución B de hidróxido de potasio (44,5 g/L), disolución C de glucosa (40 g en 350 mL de agua), amoníaco concentrado (aproximadamente 10 mL), mezcla crómica (aproximadamente 100 mL).

**Procedimiento:**

Los que mejor quedan son los matraces redondos (para un aula de cincuenta personas con un matraz de litro o medio litro es suficiente). El matraz se debe limpiar previamente con mezcla crómica, que se puede hacer, en el mismo matraz, con una cucharada de dicromato de potasio, 100 mL de agua y 100 mL de ácido sulfúrico concentrado. Conviene calentarlo ligeramente y después procurar con movimientos adecuados que resbale bien por toda la pared del matraz. La mezcla, que es muy corrosiva, se puede guardar y utilizar otras veces (sigue siendo adecuada para limpiar mientras mantenga el color rojizo).

El matraz, tras su lavado con la mezcla crómica, se debe aclarar con abundante cantidad de agua. Para platear un matraz de 250 ml se toman 30 mL de disolución A, se añade hidróxido amónico concentrado gota a gota, con lo que aparece un precipitado (hay que añadir justo hasta que se disuelva). Se incorporan 15 mL de disolución B, con lo que aparece de nuevo el precipitado, debiéndose añadir más hidróxido amónico concentrado hasta que se disuelva otra vez. Seguidamente se adicionan unos 2 mL de disolución C y se mueve el matraz haciendo círculos de forma que se mantengan las paredes mojadas con el contenido.

En menos de cinco minutos queda el matraz totalmente plateado. Primero, la disolución se empieza a poner turbia, pero de repente, según se está volteando el matraz, empieza a depositarse la plata brillante sobre la pared.

#### Seguridad:

No existe ningún riesgo más que si se vierte la disolución de nitrato de plata por las manos se llenan de manchas negras difíciles de quitar. Se pueden eliminar lavándolas en una disolución de una parte de amoníaco concentrado, tres de agua y una de agua oxigenada.

#### Residuos:

Los residuos se pueden verter por el desagüe del laboratorio. Si se quiere usar el matraz para nuevos plateados se limpia fácilmente con una mezcla a partes iguales de agua y ácido nítrico concentrado, en un lugar bien ventilado porque se producen óxidos de nitrógeno. En la reacción se formará nitrato de plata, que se puede recoger al cristalizar por evaporación del agua. Los residuos de sales de plata que contienen amoníaco no se deben guardar durante mucho tiempo porque se pueden formar nitruros que son explosivos (como se comentó anteriormente).

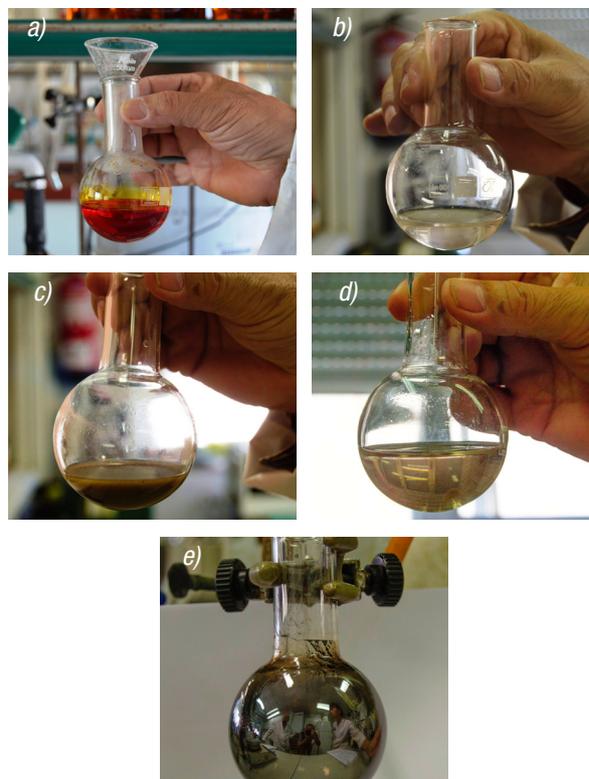
La reacción se puede hacer en un tubo de ensayo calentando o en frío (pero se necesitan disoluciones más concentradas y preparar el reactivo usando hidróxido de potasio) y también resulta muy espectacular. Para que se produzca el recubrimiento, el vidrio tiene que estar muy limpio, dado que cualquier resto de grasa o suciedad impediría su adecuada formación.<sup>[8]</sup> El matraz, si es de fondo redondo, se puede utilizar también como espejo convexo en el aula de Física.

En la Figura 5 se recogen imágenes del proceso seguido para formar un espejo de plata típico con el reactivo de Tollens, en un matraz de fondo redondo, siguiendo un procedimiento similar al aquí descrito.

#### APLICACIONES DEL REACTIVO DE TOLLENS EN NANOTECNOLOGÍA

El reactivo de Tollens sigue en plena actualidad, porque se puede utilizar como uno de los métodos de obtención de nanopartículas de plata.

Los egipcios y los griegos ya emplearon partículas de metales para colorear el vidrio. Como es bien conocido, el vidrio de color rojo se conseguía con polvo de oro, y el amarillo con plata. Las propiedades del oro y la plata coloidal son ampliamente conocidas.<sup>[9]</sup> En la *Royal Institution* del Reino Unido aún se guardan hidrosoles de oro preparados por Faraday en 1857. Estas dispersiones coloidales, de color parecido a la sangre, se utilizaban para distintas curas. También se utilizó desde tiempos muy antiguos la plata en medicina, para desinfección, por su poder antimicrobiano, pero se dejó de utilizar cuando aparecieron



**Figura 5.** Ilustración de la formación de un espejo de plata. a) disolución de la mezcla crómica para el lavado, b) disolución de  $\text{AgNO}_3$ , c) formación del precipitado de  $\text{Ag}_2\text{O}$  con  $\text{NaOH}$ , d) disolución del precipitado con  $\text{NH}_3$  concentrado, y e) espejo de plata formado.

Fuente: los autores de este trabajo

los antibióticos. Sin embargo, cuando algunas bacterias u otros microorganismos se hacen resistentes a los antibióticos, se han vuelto a probar con bastante éxito gases con plata para curar heridas que tardan en cicatrizar.

Como indican Ávalos *et al.*,<sup>[10]</sup> de todos los nanomateriales utilizados en productos para el consumo, las nanopartículas de plata (AgNPs) son las que poseen un mayor grado de aplicación. Se utilizan en electrónica, ropa, pinturas, cosméticos, biofungicidas, biomedicina, industria farmacéutica e industria alimentaria, entre otras aplicaciones.

Este amplio uso plantea un nuevo problema, que es el estudio de su posible toxicidad, ya que las propiedades de los nanomateriales son completamente diferentes a las que exhiben los mismos materiales a macroescala. Por ejemplo, las nanopartículas poseen una mayor relación superficie-volumen y por tanto una mayor superficie de contacto con el entorno.

En la actualidad, tiene un gran interés la obtención de materiales que se obtienen implantando nanopartículas metálicas en películas delgadas de polímeros, para usos como catalizadores, semiconductores, bioimplantes, recubrimientos bactericidas, etc. Todo esto forma parte de investigaciones de vanguardia que también pueden servir en niveles universitarios para aprender a utilizar e interpretar resultados de técnicas como espectroscopía UV-Vis, TEM (microscopía electrónica de transmisión) y SEM (microscopía electrónica de barrido), entre otras.<sup>[9, 11]</sup>

Si se trabaja con alumnos de niveles preuniversitarios, la única técnica que se utilizaría para comprobar la existen-

cia de las nanopartículas sería la iluminación con un puntero laser o con luz ultravioleta que permitirá detectarlas por efecto Tyndall.

Para la obtención de las nanopartículas de plata, es fácil encontrar en la bibliografía trabajos en los que, como reductor de las sales de plata, se sigue utilizando la glucosa. Es decir, se recurre al reactivo de Tollens como una buena solución; y no solo a nivel didáctico.

Aunque se dispone de otros reductores como el borohidruro de sodio, su manejo no está aconsejado en enseñanza porque es bastante peligroso por el desprendimiento de hidrógeno, que es fácilmente inflamable y explosivo (por ello se debe trabajar en vitrinas con ventilación forzada).

Es curioso que en alguno de los artículos que hemos consultado y que utilizan otros reductores distintos para los iones plata, se comenta que a nivel didáctico, la reacción se debe escribir como si fuera la producida por el reactivo de Tollens.<sup>[12]</sup>

Uno de los problemas de la efectividad de la plata como antimicrobiano es el tamaño de las partículas, que no debe ser mayor de unos pocos nanómetros. La plata tiene un radio metálico de 0,144 nm y el tamaño de las partículas depende de su agregación que, a su vez, está en función de varias de las condiciones en las que se realiza la reacción (pH, temperatura, concentración de los reactivos y duración de la reacción). Teniendo en cuenta que se conocen como nanopartículas las que tienen un tamaño entre 0,1 y 100 nm, los trabajos pertenecen al campo de los nanomateriales. Los ejemplos de trabajos experimentales que permiten obtener estos materiales así como su aplicación desde el punto de vista didáctico son muy numerosos y hemos seleccionado algunos.<sup>[11-18]</sup>

Según el tamaño de las partículas, se pueden obtener dispersiones con partículas de plata en suspensión, cuyos colores comprenden amarillo claro, amarillo oscuro, violeta y gris.

Se pueden preparar sustancias similares reduciendo también sales de oro, y se obtienen así colores que van desde el rosa al amarillo del oro coloidal. Al resultar mucho más caros, a nivel didáctico aparecen solo en trabajos concretos de aplicación artística por su coloración.

Para trabajar este tema con alumnos, es muy interesante la propuesta que hacen Soukupova *et al.*,<sup>[15]</sup> y que titulan “Viaje de la plata desde el mundo macro al nano”. Se encuentra en la citada publicación una detallada discusión desde las partículas que sirven para hacer el espejo de plata hasta las nanopartículas. Los autores lo aplican con tres grupos de estudiantes: preuniversitarios, universitarios de segundo curso de Ciencias Químicas y de lo que en España sería la Universidad de la experiencia.

En este “viaje” indican el procedimiento, primero para obtener el espejo de plata, después para conseguir partículas negras de plata coloidal y, por último, para llegar a la plata de color naranja de las nanopartículas. Es interesante la discusión en la que se explica por qué la misma reacción del reactivo de Tollens, permite obtener tres tipos de partículas, variando fundamentalmente las concentraciones de los reactivos.

Los autores indican que a los estudiantes preuniversitarios, lo que más les costaba entender era que la disolución

de color naranja contenía minipartículas metálicas de color amarillo, lo cual se demostraba por el efecto Tyndall, al iluminarlas con rayos laser, y era necesario que comprobaran ese mismo fenómeno con otros materiales de la vida diaria, como la leche u otros productos lácteos que contienen gotitas de grasa.

Los estudiantes del segundo curso universitario eran capaces de aplicar correctamente la espectroscopía UV-Vis. para caracterizar las nanopartículas de plata. También utilizaron la tecnología DLS (*Dinamic Light Scattering*, dispersión dinámica de la luz), con la supervisión del instructor de laboratorio y, además, valoraron positivamente el trabajo que se les había propuesto.

El último grupo de estudiantes, formado por personas mayores normalmente sin estudios previos, agradeció la oportunidad de estar en contacto con temas punteros de la ciencia. Algunos conocían el reactivo de Tollens y las sales de plata del material fotográfico y, para todos, fue un trabajo excitante utilizar técnicas como espectroscopía UV-Vis. y DLS.

Otras propuestas, como las de Duncan *et al.*,<sup>[14]</sup> y Campbell *et al.*,<sup>[16]</sup> se refieren más a la síntesis de nanomateriales para conseguir determinadas obras de arte incrustando las nanopartículas en una matriz de un material como el polidimetilsiloxano.

Cooke *et al.*,<sup>[17]</sup> obtienen partículas amarillas de plata en una mezcla acuosa que contiene almidón soluble, nitrato de plata, citrato de sodio y glucosa, y como sistema de calefacción proponen la posibilidad de utilizar un microondas doméstico. Es importante la discusión en la que explican la función del almidón por su estructura coloidal, que evita la agregación de las partículas.

En estos trabajos está claro que una cuestión muy a tener en cuenta es conseguir que las partículas, una vez obtenidas, no se unan formando grandes agrupaciones. El citrato de sodio lo añaden para conseguir una disolución casi neutra aunque ligeramente básica, porque actúa como tampón con el ácido que se produce, en la reducción de la glucosa. Según Cruz *et al.*,<sup>[18]</sup> el citrato de sodio además forma un complejo con los iones plata, haciendo que la reacción de reducción sea más lenta y, por otra parte, se adsorbe en la superficie de la plata, dándole una carga negativa que impide que se asocien las nanopartículas.

Orbaek *et al.*,<sup>[12]</sup> se centran en la resonancia que se puede conseguir, lo que se conoce como resonancia de plasmones superficiales (SPR), que es un efecto importante asociado con los nanomateriales. Los metales en estos casos se consideran prácticamente como un plasma, porque sus cargas positivas en una atmósfera de electrones. Sobre todo en estos casos que la superficie es muy grande y el volumen es pequeño sería como un plasma cuántico que es lo que se llama un plasmón. Además, se denomina superficial porque casi se puede considerar como una superficie (la superficie que ocupan es enorme y el volumen es mínimo).

Estos autores indican que hay cuatro etapas en el proceso de obtención de las partículas: nucleación, crecimiento, maduración y terminación. Los reactivos se podrían considerar como el compuesto químico que proporciona el metal (por ejemplo nitrato de plata), el agente reductor (por ejemplo la glucosa) y el ligando (que puede ser un

tensoactivo). Este último es necesario para que las partículas no se asocien (dejarían de ser “nano”) y se denomina “agente de nivelación”.

En el trabajo de Orbaek *et al.*,<sup>[12]</sup> se proponen dos tipos de experimentos; en uno, utilizan disolución de nitrato de plata y ácido mercaptosuccínico con agitador magnético y añaden, poco a poco, cuando ya se ha formado un vórtice, borohidruro de sodio. En el segundo caso, a la disolución de nitrato de plata, agitada mecánicamente, y cuando tiene un vórtice moderado, se le añade una disolución de citrato de sodio, retirando cada cinco minutos una muestra para analizarla.

Un pico de absorbancia en los espectros UV-Vis. determina la condición de resonancia (que varios electrones se exciten a la vez con la misma frecuencia). La longitud de onda de ese pico se puede utilizar para determinar el rango de tamaño aproximado de las nanopartículas. En concreto, los cambios de ancho de los picos indican la “maduración” (estabilización); cuanto más estrecho es el pico es que los tamaños son más homogéneos.

Con esta información, los alumnos pueden llegar a la conclusión de que los agentes reductores más fuertes dan lugar a partículas más pequeñas y más homogéneas, pero se deben dar cuenta que hay otros muchos factores que intervienen en el tamaño. También se les puede preguntar por la influencia del tiempo de reacción.

Al final de su trabajo Orbaek *et al.*,<sup>[12]</sup> hacen un resumen de los conceptos tratados: escala, microscopía electrónica de barrido, microscopía electrónica de transmisión, espectroscopía de absorción UV-Vis., espectrometría de masas, reducción química, ley de Lambert-Beer, plasmones, relación de área de superficie a volumen efectivo, agentes reductores y reacción de Tollens (formación de espejo de plata), y la estabilidad coloidal.

Se puede discutir con los alumnos sobre el tamaño del átomo y el de la nanopartícula, así como las propiedades que surgen a nanoescala, de las cuales, quizás la más significativa es la resonancia de plasmón de superficie. Esto se describe en detalle por Cruz *et al.*,<sup>[18]</sup>

Los materiales a nanoescala tienen propiedades que se describen mediante la física clásica y la mecánica cuántica y, a veces, no está claro cuál de las dos se debe de aplicar.

Con objeto de orientar a los estudiantes, Orbaek *et al.*, les ponen ejemplos de mecánica ordinaria, como lo que sucede al empujar a una persona que está sentada en un columpio para que oscile. Al aumentar lentamente el impulso de la oscilación, cada vez se necesita menos empuje y la persona va subiendo cada vez más y más y solo hay que empujarla en determinados momentos porque ha entrado en resonancia. Lo comparan con la frecuencia de la luz, que incide sobre los electrones. La luz que irradian las nanopartículas de la plata produce resonancia sobre los electrones y es lo que se llama resonancia de plasmón superficial (SPR). La palabra superficial hace referencia a que la mayoría de los átomos de las nanopartículas están situados en la superficie.

La propiedad más diferenciada de las nanopartículas, comparada con las partículas de plata corrientes, es la re-

lación entre el área de la superficie y el volumen. Orbaek *et al.*, proponen compararlo con un modelo simple: imaginar una pelota de tenis (unos 7 cm de diámetro) que está reducida en tamaño diez millones de veces ( $\times 10^{-7}$ ), a un nm de diámetro, constituyendo la nanopartícula. Al reducir mucho el tamaño, la mayoría de los átomos estarían en la superficie, con lo cual la relación de ésta con respecto al volumen sería muy grande. Esto es muy importante en la definición de las propiedades de la nanopartícula, porque el comportamiento químico depende de las superficies. Así que cuanto más superficie se crea, más reactividad se puede conseguir. El área superficial de una disolución de nanopartículas de plata pueden ser tan alta que una pequeña “cucharadita” de nanopartículas puede tener la misma superficie que un campo de fútbol, siendo la masa de las nanopartículas de esta cucharadita de sólo unos pocos cientos de miligramos, mientras que el metal de plata cubriendo un campo de fútbol entero puede pesar unos cientos de kilogramos.

## CONCLUSIÓN

La biografía del químico alemán Bernhard Tollens indica una forma ejemplar de trabajar como profesor y como investigador. Además, destacó su capacidad para acoger a estudiantes de distintos países, esforzándose para que se sintieran integrados y ayudándoles en la dificultad que tenían para comprender el idioma. Se puede considerar como un precursor de la globalización de la ciencia.

El reactivo de Tollens sigue siendo una buena herramienta didáctica en los distintos niveles educativos, porque tiene muchas posibilidades de ilustrar aspectos como reacciones de identificación de aldehídos, reacciones redox, formación y aplicaciones de complejos, etc. Pero además, se utiliza actualmente para explicar conceptos nuevos, como algunos implicados en aspectos de nanotecnología, y así utilizar nuevas herramientas didácticas.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo recibido de la Universidad Politécnica de Madrid con el proyecto de innovación educativa PT14\_15-03002, así como al Ministerio de Economía y Competitividad, por la concesión del proyecto MAT2013-47972-C2-1-P del Programa Estatal de Fomento de la Investigación Científica y Técnica de Excelencia. También se agradece a D. Juan Pablo Hernández Rubio por la realización de las fotografías de la figura 5.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. A. Browne, *J. Chem. Educ.*, **1942**, *19*, 253-259.
- [2] L. Pérez Pariente, *Protagonistas de la Química en España*, CSIC, Madrid, **2010**, p.72.

- [3] B. Tollens, *Kurzes Handbuch der Kohlenhydrate*, Trewendt, Breslau, **1888**.
- [4] E. Heuser, *J. Chem. Educ.*, **1952**, *29*, 449-453.
- [5] C. F. Cross, E. J. Bevan, *Researchs on Cellulose 1895-1900*, Longman, Londres, **1901**.
- [6] H. Molinari, *Química Orgánica*, Vol. 1, Gustavo Gili, **1922**.
- [7] B. Tollens, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, **1882**, *15*(2), pp. 1635-1639, pp. 1828-1830.
- [8] M. Martín, M. T. Martín, *Experimentos de Química, Guía del Profesor*, Editorial Académica Española, Londres, **2012**.
- [9] C. D. Keating, M. D. Musick, M. H. Keefe, M. J. Natan, *J. Chem. Educ.*, **1999**, *76*, 949-955.
- [10] A. Ávalos, A. I. Aza, D. Mateo, P. Morales, *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, **2013**, *7*(2), 1-23.
- [11] M. Oliver-Hoyo, R. W. Gerber, *J. Chem. Educ.*, **2007**, *84*, 1174-1176.
- [12] A. W. Orbaek, M. M. McHale, A. R. Barron, *J. Chem. Educ.*, **2015**, *92*, 339-341.
- [13] L. Mulfinger, S. D. Solomon, M. Bahadory, A. V. Jeyarajasingam, S.A. Rutkowsky, C. Boritz, *J. Chem. Educ.*, **2007**, *84*, 322-325.
- [14] K. A. Duncan, C. Johnson, K. McElhinny, S. Ng, K. D. Cadwell, G. M. Zenner Petersen, A. Johnson, D. Horoszewski, K. Gentry, G. Lisensky, W. C. Crone, *J. Chem. Educ.*, **2010**, *87*, 1031-1038.
- [15] J. Soukupova, L. Kvitek, M. Kratochvilova, A. Panacek, R. Prucek, R. Zboril, *J. Chem. Educ.*, **2010**, *87*, 1094-1097.
- [16] D. J. Campbell, R.B. Villarreal, T. J. Fitzjarrald *J. Chem. Educ.*, **2012**, *89*, 1312-1315.
- [17] J. Cooke, D. Hebert, J. A. Kelly, *J. Chem. Educ.*, **2015**, *92*, 345-349.
- [18] D. A. Cruz, M. C. Rodríguez, J. M. López, V. M. Herrera, A. G. Orive, A. H. Creus, *Av. Cien. Ing.*, **2012**, *3*(2), 67-78.



# El modelo atómico de la materia en la formación científica del profesorado de las primeras etapas educativas

Esteban Moreno Gómez

**Resumen:** En este artículo describimos un conjunto de actividades científicas dirigidas a profesores de primaria, con el fin de proporcionarles materiales y métodos apropiados para guiar a sus estudiantes en una visión introductoria del modelo atómico de la materia, de acuerdo con los principios del aprendizaje significativo de Ausubel. Como se muestra en este trabajo, los profesores deben ser capaces de explicar las propiedades de la materia mediante el modelo atómico y molecular, conocimiento que debería ser obligatorio en su competencia científica curricular. Creemos firmemente que una buena formación científica de los profesores es esencial para lograr la alfabetización científica de nuestra sociedad.

**Palabras clave:** Formación científica, teoría atómica de la materia, educación primaria, experimentos, didáctica, recursos didácticos.

**Abstract:** In this paper we describe a set of scientific activities aimed to elementary school teachers, in order to provide them with materials and methods appropriated to guide their students in an introductory view of the atomic model of matter, according with Ausubel principles of meaningful learning. As we show in this work, teachers must be able to explain the properties of matter using the atomic and molecular model, the knowledge of which should be compulsory in their scientific curricular competence. We strongly believe that a good scientific background of the teachers is essential in order to achieve the scientific literacy of our society.

**Keywords:** Science training, atomic theory of matter, elementary education, experiments, science teaching, didactic resources.

## INTRODUCCIÓN

Fue en los Estados Unidos de América, en 1966, donde se inició el desarrollo legislativo que contemplaba la obligatoriedad de la enseñanza de la ciencia en la etapa de los cinco a los trece años.<sup>[1]</sup>

En la actualidad, la necesidad de implantar planes que aborden la ciencia en las primeras etapas educativas (Educación Infantil y Primaria) goza de un amplio consenso entre los profesionales de la educación de todos los países desarrollados y, en particular, de los denominados económicamente emergentes.

En nuestro país, las distintas y cambiantes iniciativas legislativas han ido incluyendo, con mayor o menor acierto, contenidos científicos en el currículo de Primaria. Sin embargo, las autoridades educativas y las Facultades de Educación no han previsto la necesaria formación en materias científicas del profesorado de las primeras etapas.<sup>[2]</sup>

La formación en ciencias del profesorado es clave para implementar con éxito dichas materias en la escuela y, probablemente, la mejor base científica que pueda adquirir un docente comience por la asimilación general del modelo atómico de la materia.

Desde el año 2000, el grupo *El CSIC en la Escuela* realiza cursos de formación científica enfocados a las competencias de los maestros de Educación Infantil, Primaria y primer ciclo de Secundaria, y fruto de esta experiencia hemos llegado a la conclusión de la necesidad de empezar siempre nuestra labor formativa con aplicaciones al aula de la teoría atómico-molecular.

## EL PROYECTO Y SU METODOLOGÍA

“El CSIC y la Fundación BBVA en la Escuela<sup>[3]</sup>” es un proyecto de ámbito estatal que establece una colaboración entre científicos y maestros con el objetivo de extender el conocimiento científico en las aulas desde la Educación Infantil y Primaria.

Las líneas de trabajo principales son la formación científica del profesorado, la investigación en nuevos métodos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, la proyección social del trabajo científico realizado en las aulas y la publicación de sus resultados.

Nuestro programa se centra en los docentes de las primeras etapas educativas y pretende que el maestro vea la utilidad de realizar ciertas modificaciones metodológicas a la hora de enseñar ciencia en el aula, privilegiando su formación teórica y práctica, de forma análoga a la actualización que reciben los profesores<sup>[4]</sup> de Educación Secundaria.

Desde nuestra perspectiva, la labor del docente que enseña ciencia es ayudar al alumno a obtener leyes y construir modelos, por medio de experimentos y razonamientos apropiados.

Todos nuestros cursos de formación se diseñan siguiendo un planteamiento constructivista, permitiendo que el



V. A. de Cultura Científica  
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)  
c/ Serrano 144. 28006. Madrid  
C-e: [esteban@orgc.csic.es](mailto:esteban@orgc.csic.es)

E. Moreno Gómez Recibido: 12/03/2015. Aceptado: 06/07/2015.

maestro sea quien edifique su propio conocimiento; esta experiencia le será muy útil cuando la aplique con sus alumnos en el aula.

En primer lugar efectuamos un análisis de los conceptos que intervienen en el tema que tratamos, que son los que debe conocer el maestro en el marco de las competencias que establece el currículo educativo. Realizamos un mapa, tal como sugiere Novak,<sup>[5]</sup> identificando los conceptos fundamentales, las relaciones jerárquicas entre éstos, las magnitudes y los modelos. Esta fase es crucial pues delimita el alcance de la formación que queremos dar al docente y asegura el éxito del aprendizaje significativo. Un ejemplo de mapa de este tipo lo tenemos en la Figura 1.

Como herramienta transversal, de gran utilidad para el docente, intentamos exponer nuestros cursos en función del desarrollo histórico de los conceptos más importantes, permitiendo al maestro contextualizar temporalmente la aparición de los modelos científicos y situar a sus creadores.

El resultado final son cursos de formación teórico-prácticos, de unas 16 horas de duración, que permiten al profesor conocer la evolución de los distintos modelos científicos implicados, sus protagonistas, los conceptos y magnitudes necesarios y, por supuesto, un gran número de aplicaciones prácticas para el aula.

Debemos tener en cuenta que a la hora de enseñar a un niño un determinado concepto científico se tiene que tener muy presente el grado de desarrollo cognitivo en

el que se encuentra, así como lo que ha aprendido antes (conceptos previos).

### LA IMPORTANCIA DEL MODELO ATÓMICO EN LA FORMACIÓN CIENTÍFICA DEL PROFESORADO

Decía Feynman que la teoría atómica es el conocimiento más importante que habría que salvar para las futuras generaciones, en caso de un hipotético cataclismo, pues alberga gran cantidad de información en pocas palabras.<sup>[6]</sup>

La necesidad de que el maestro conozca el modelo atómico-molecular es imprescindible no solo como competencia directamente relacionada con esta teoría, como por ejemplo los cambios de estado ligados al ciclo del agua, sino que su conocimiento es indispensable para comprender otros fenómenos que debe abordar en su aula. Este es el caso del electromagnetismo, las fuentes y tipos de energía, o los conceptos de presión y temperatura.

En ciencia y en educación un concepto nunca es un elemento aislado en el esquema general de conocimiento. Su adquisición o modificación implica un cambio en dicho esquema general, de una manera semejante a como tienen lugar los cambios de paradigma en la historia de la ciencia.<sup>[7]</sup>

De esta forma, cuando se modifica un concepto en la mente de un niño (por ejemplo que la niebla es agua en forma de gotitas y no humo), se modifica también toda la

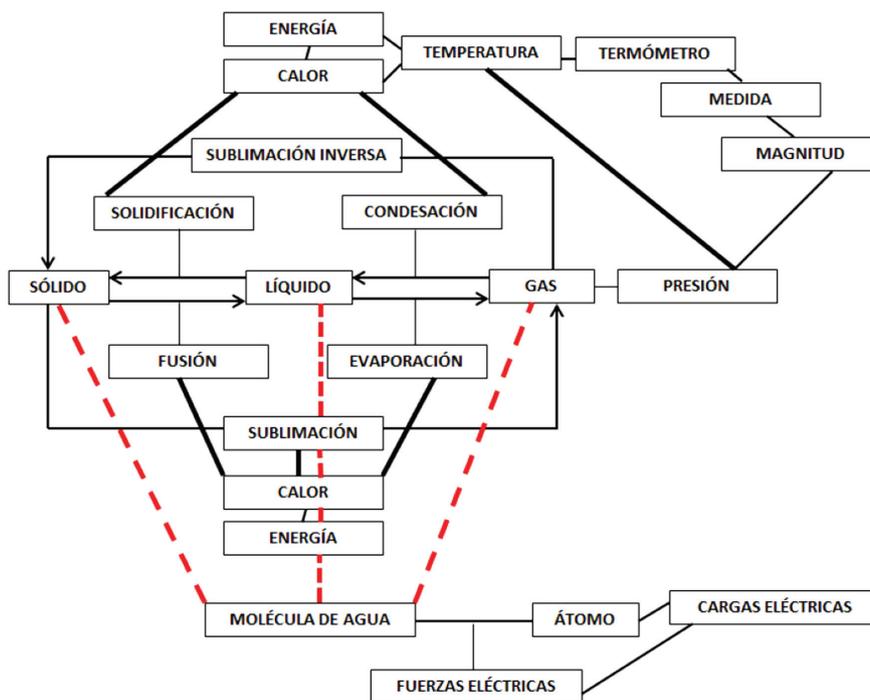


Figura 1. Ejemplo de mapa de conceptos, utilizado para el diseño de un curso de formación científica a maestros que trate el modelo atómico-molecular y el ciclo del agua. Fuente: Elaboración propia

visión global que posee o de la que carece, en este caso, sobre el proceso natural del ciclo del agua.

### ALGUNAS EXPERIENCIAS DE FORMACIÓN A MAESTROS Y SUS APLICACIONES AL AULA

El lector habrá detectado que al abordar la estructura del átomo surgen conceptos como el de carga eléctrica, que a su vez implican otros como los de fuerzas de atracción-repulsión, cuyo conocimiento es necesario para asegurar la competencia del maestro en este tema, conceptos que son imprescindibles para desarrollar el modelo de molécula.

La interrelación entre conceptos científicos, como señalamos en el apartado anterior, es una pauta regular en el desarrollo de la práctica educativa: un concepto no está aislado, siempre depende de otro u otros.

#### Cargas y fuerzas eléctricas

Planteamos a los maestros una serie de actividades encaminadas a descubrir fenómenos electrostáticos que nos permitan asimilar el concepto de carga eléctrica. Para ello utilizamos como hilo conductor la historia de la ciencia recreando los experimentos cuya descripción se atribuye a Tales de Mileto, pero utilizando materiales caseros.

Podemos observar la fuerza eléctrica empleando materiales de fácil adquisición en un aula: pajitas de plástico, tubos de PVC, globos y servilletas de papel para frotar.

El profesor, al igual que sus alumnos, debe descubrir la existencia de unas fuerzas de atracción y de repulsión y posteriormente describir estos fenómenos utilizando el modelo de carga eléctrica.

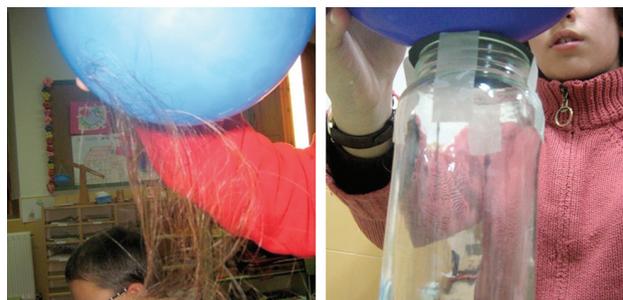
No deja de ser sorprendente que las fuerzas que surgen al acercar una pajita de plástico (convenientemente frotada) a unos pedacitos de papel sean las mismas que actúan a escala atómica.

La combinación plástico-servilleta de papel es la más apropiada para trabajar en el aula, ya que la servilleta (fácilmente reemplazable) limpia la superficie del objeto al mismo tiempo que lo electriza, absorbiendo pequeñas cantidades de grasa o agua.

En la Figura 2 podemos ver cómo un maestro de Zamora ha llevado a cabo estas actividades en su aula.

#### Mendeleiev y el constructor de átomos

Esta es una actividad básica en nuestros cursos de formación, y va destinada a que los maestros adquieran el conocimiento suficiente para comprender la estructura básica de la materia, los conceptos que intervienen, el desarrollo histórico de este modelo y la razón de la tabla periódica de los elementos.



**Figura 2.** Distintas actividades sobre electrostática, realizadas por alumnos de Primaria del CRA de Corese (Zamora, 2008) encaminadas a adquirir el concepto de carga y fuerza eléctrica. Fotografía realizada por Luis Florián

A modo de un juego de mesa, incorpora las fichas (protones, neutrones y electrones) y el tablero (núcleo y orbitales). Como todo juego tiene reglas y éstas buscan colocar un determinado número de partículas (fichas) en el tablero siguiendo criterios como la neutralidad de carga o el número de electrones por orbital (principio de exclusión de Pauli); de esta forma al incorporar fichas al tablero (aumentando el número másico) se van *construyendo* y descubriendo distintos átomos y se estudian las propiedades físicas y químicas de cada uno de ellos. El juego se completa con un glosario de términos y un diálogo virtual entre Mendeleiev y otros científicos. Como muestran las imágenes de la Figura 3 *Mendeleiev y el constructor de átomos*<sup>[8]</sup> está planteado como un juego fácilmente trasladable al aula, que muchos maestros han adaptado de diversas maneras y con distintos materiales, y que ha probado su idoneidad para que los alumnos adquieran conocimientos sobre la estructura de los átomos.



**Figura 3.** *Izquierda:* alumnos de quinto curso de Primaria del CP San Jorge cuyo profesor utiliza distintos tipos de legumbres como protones, neutrones y electrones. *Derecha:* sistema periódico en el aula (Pamplona, 2009). Fotografía realizada por J.J. Artázcoz

El maestro tiene distintas formas de comprobar el grado con que sus alumnos van asimilando el modelo de la estructura atómica; quizás la más representativa es observar sus dibujos y esquemas.

En la Figura 4 podemos observar dos ejemplos: el primero corresponde a un alumno de cinco años que, debido a su edad, ha asimilado el lugar que ocupan las distintas partículas de un átomo (sitúa correctamente en su lugar a las partículas) pero no la regla de equilibrio de cargas entre protones y electrones; el segundo nos muestra el cuaderno de un alumno con las representaciones de los átomos de Litio y Berilio.

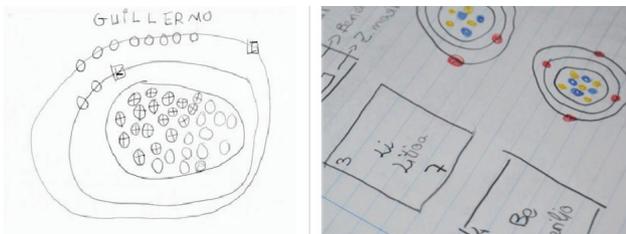


Figura 4. A la izquierda dibujo de un alumno de 5 años del CEIP Virgen de la Cabeza (Tudela, 2008). Derecha dibujos en el cuaderno de un alumno de 2.º Ciclo de Primaria del CEIP Ntra. Sra. de Orreaga (Garralda, 2013). Fotografía realizada por M.ª Blanca Carballo

### El modelo de molécula

Una vez que el docente comprende, a grandes rasgos, la estructura del átomo, estamos en condiciones de elaborar el modelo de molécula. En este punto es necesario hacer una precisión: si bien, el maestro debe conocer con el máximo detalle posible los procesos (reacciones químicas) que dan lugar a las moléculas y los conceptos asociados (valencia, tipos de enlace, distribución electrónica, fuerzas intermoleculares, etc.), será también el maestro quien decida con qué nivel de complejidad trabaja el modelo de molécula con sus alumnos.

En un principio proponemos que el docente utilice un modelo cinético de molécula en el caso de los gases, similar al propuesto por Daniel Bernoulli en el siglo XVIII. Las

moléculas estarían representadas por partículas puntuales, elásticas y en constante movimiento, cuyo comportamiento el profesor puede aproximar al de pelotas de goma. Esta simplificación del modelo de molécula (esferas elásticas) tiene limitaciones, pero, en nuestra labor formativa, ha demostrado ser un recurso didáctico muy útil. Por tratarse de un modelo cinético de la materia permite que el docente lo utilice<sup>[9]</sup> para introducir, entre otros, los conceptos de presión y temperatura.

En nuestra experiencia hemos observado que el maestro formado en ciencia actúa en su aula, al principio, con algo de inseguridad, pero tras comprobar la satisfacción de sus alumnos por la metodología experimental, abraza con entusiasmo cualquier proyecto aunque pueda parecer, inicialmente, complicado. En la Figura 5 podemos observar el trabajo sobre la molécula de agua en una clase de seis años, en la que cada alumno es un átomo de Oxígeno o de Hidrógeno y la unión por sus manos representa el enlace covalente.

Los maestros son pronto conscientes de las aplicaciones del modelo de molécula en Educación Primaria, que convenientemente usado es una herramienta didáctica de primer orden que permite dar un sentido fundamental a gran parte de las competencias científicas de esta etapa educativa, principalmente en el área de materia y energía. En la Figura 6 podemos observar dos ejemplos concretos que abordaron el estudio de las máquinas de vapor (máquina de Savery) y de los tipos de energía.



Figura 5. Modelo de molécula de agua (izquierda). A la derecha representación de moléculas de agua. Alumnos de 6 años del C.P. Sancho Ramírez de Arguedas (Navarra, 2008). Fotografía realizada por Nuria Galarreta

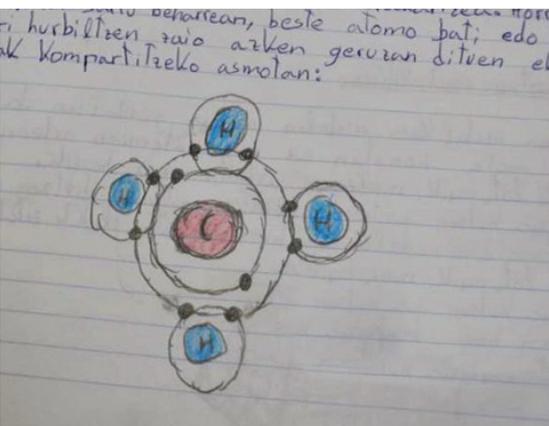


Figura 6. Izquierda: montaje de una máquina de Savery y alumnos de 11 años del C. P. José L. Arrese (Corella, 2010). Derecha: modelo de molécula de metano en el cuaderno de un alumno de Primaria del CEIP Ntra. Sra. de Orreaga (Garralda, 2013). Fotografía realizada por Manuel Martín

## La existencia de los gases

Los gases cotidianos que forman el aire no son observables a simple vista, pero esto no es una barrera para la enseñanza, al contrario, debemos utilizar este hecho para estimular la imaginación de los alumnos.

Parafraseando a Einstein, podemos preguntarnos ¿qué sabemos los humanos del aire que nos rodea?

Uno de los recursos<sup>[10]</sup> que proponemos a los maestros en formación tiene que ver con que el alumno descubra la existencia de los gases. Para ello trasladamos el aire contenido en una botella llenando otra que contiene agua. Los alumnos de la etapa de Infantil descubren que los gases existen, que se pueden manipular y que además es divertido.

## El ciclo del agua a través del modelo molecular

Cuando el docente ha realizado las experiencias anteriores está en condiciones de elaborar un modelo que explique su comportamiento. En este momento hay que recordar al maestro que son dos las principales ideas que hay detrás de dicho modelo: que la materia está constituida por moléculas y que éstas obedecen las mismas leyes que los cuerpos macroscópicos.

El siguiente paso es proponer al profesor un camino didáctico que oriente a su alumnado hacia la elaboración de este modelo, siguiendo un proceso que permita un aprendizaje significativo, presentándole una serie de resultados experimentales que le ayuden a trabajar este modelo en su aula y profundizar en las propiedades de la materia.

El caso más sencillo, y aplicable a un aula de las primeras etapas educativas, es el reflejado en la Figura 7, un experimento de condensación de vapor de agua que permita que el alumno llegue a la conclusión de que el vapor y el líquido tienen la misma composición.

La aparición de pequeñas gotas de agua en la superficie de, por ejemplo, un recipiente metálico a baja temperatura nos brinda una situación muy interesante desde el punto de vista científico y educativo. Al preguntarnos ¿de dónde viene esa agua? nos enfrentamos a una situación en la que el razonamiento lógico nos obliga a suplir lo que nuestros sentidos no perciben.

La propia lógica de nuestro razonamiento nos lleva a admitir que el agua condensada ha surgido del aire



**Figura 7.** Experiencia de condensación de agua en las paredes de un recipiente frío para determinar el *punto de rocío*, durante un curso de Formación Científica a maestros impartido por *El CSIC en la Escuela*. Fotografía realizada por el autor

de una manera invisible para nuestro sentido de la vista; además los resultados del experimento se repiten en cualquier lugar. En este momento el alumno, guiado por el profesor, debe admitir que el agua está en el ambiente mezclada con otros gases del aire de forma que no la vemos. Siguiendo con el análisis lógico, el docente debe exponer al alumnado que el agua presente en el aire debe formar partículas tan pequeñas que nos resulta imposible verlas, y que estas partículas reciben el nombre de moléculas.

El análisis de los resultados del experimento muestran que, poco a poco, las moléculas de agua se adhieren a la pared de la lata de refresco hasta adquirir el tamaño de pequeñas gotas que ya son visibles para nosotros; el maestro aprovechará este momento para poner nombre a este proceso: condensación.

Las implicaciones educativas de esta sencilla experiencia son múltiples y varían en función de los objetivos del maestro (casi siempre limitados por el programa curricular) y de la etapa de desarrollo cognitivo<sup>[11]</sup> del alumno.

En este punto insistimos al docente en que puede utilizar este experimento para ampliar los conceptos científicos implicados relacionando la condensación con la temperatura. Como vemos en la Figura 8, el concepto de temperatura le permitirá tratar el de la energía (el calor) necesaria, a su vez, para estudiar las fuerzas intermoleculares y un proceso inverso al anterior: la evaporación.



**Figura 8.** Alumnos de 4 años trabajan el papel del calor (derecha) en el proceso de evaporación de agua en el suelo del aula. Experiencias realizadas en el CEIP Ntra. Sra. de los Ángeles (Murcia, 2014). Fotografía realizada por Nuria Castellanos

Experiencias similares permitirán que el docente trabaje con sus alumnos los conceptos de vapor de agua, evaporación y solidificación. El niño que trabaja estos conceptos asimila implícitamente el principio de conservación de la materia: el agua líquida no ha desaparecido, se ha transformado en partículas invisibles para nosotros: en moléculas de vapor de agua.

La motivación para el estudio de la molécula de agua, en las primeras etapas de la educación, es la de explicar las fuerzas de cohesión responsables de los cambios de estado, en especial las que presentan una dirección bien determinada, responsables de la menor densidad del hielo respecto al agua líquida.

Asimismo, las fuerzas de adherencia, fácilmente observables en tubos capilares, constituyen una motivación suficiente para investigar el origen de la polaridad de las moléculas.

## RECURSOS AUDIOVISUALES PARA LOS MAESTROS

“El CSIC y la FBBVA en la Escuela” es un proyecto de colaboración entre científicos y maestros y son éstos los que, además de formación, demandan recursos que puedan aplicar al aula.

Por esta razón el proyecto cuenta con diversos portales web donde se publican animaciones, videos y películas de utilidad en las aulas.

Sin duda la herramienta más demandada es el sitio<sup>[12]</sup> *KIDS.CSIC – Aprender ciencia es divertido*, donde los docentes interesados en trabajar ciencia en sus aulas disponen de un apoyo en forma de películas de dibujos animados que recrean experimentos relevantes en la historia de la ciencia y que están adaptadas para distintas edades.

Este portal cuenta con un itinerario específico (“El mundo de las moléculas”) donde de forma progresiva se introduce el modelo molecular de la materia a través de una serie formada por tres películas.

Con la película “¿De qué estamos hechos los seres vivos?”, que recrea el famoso experimento del sauce que realizó Van Helmont a principios del siglo XVII, el maestro puede introducir a sus alumnos en la naturaleza material de los seres vivos; el siguiente relato animado, “Descubriendo los gases”, se centra en las experiencias que Joseph Priestley desarrolló con los gases del aire, en concreto el CO<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub>. Utilizando estas dos películas el profesor puede trabajar la naturaleza molecular de la materia y su relación con la vida.

El tercer cuento del itinerario de las moléculas se titula “La historia de una mancha” y es muy demandado en las aulas de los maestros que colaboran con el programa. En este cuento se propone un modelo más complicado de molécula que el utilizado anteriormente, como se puede observar en la Figura 9, ya que dotamos a las moléculas de una configuración electrónica para introducir los conceptos de cargas eléctricas y polaridad. El docente puede utilizar esta película como proceso de asimilación de la polaridad eléctrica de la molécula de agua usando, para ello, el proceso de lavado con jabón de una mancha de grasa.

Todas las películas de este portal cuentan con guías didácticas para los docentes y para los padres, con el fin de informarles de la adaptación de las mismas al programa educativo y permitirles el máximo aprovechamiento.

Otros recursos audiovisuales que ha desarrollado el programa es una serie de videos, publicados en el canal de YouTube del Museo Virtual de la Ciencia del CSIC, sobre sencillos experimentos que pueden ayudar al docente a trabajar los conceptos de presión, calor y temperatura.

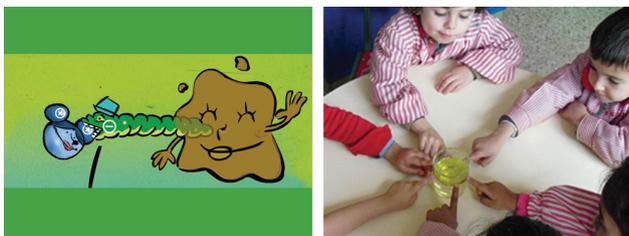


Figura 9. Fotograma de “la historia de una mancha” (izquierda) donde se trabaja el concepto de moléculas polares. Derecha: alumnos experimentando con agua y aceite en la EEI N°1 de San Pedro del Pinatar (Murcia, 2010). Fotografía realizada por Rosario Arnao

## CONCLUSIONES DE LA ENSEÑANZA DEL MODELO ATÓMICO-MOLECULAR A MAESTROS DE LAS PRIMERAS ETAPAS

La formación científica continua del profesorado de las primeras etapas educativas debe ser tenida en cuenta por las autoridades educativas tanto para el personal en activo como para los futuros docentes que se forman en las facultades de magisterio.

Consideramos que en el lugar central del proceso de enseñanza de la ciencia se encuentra el modelo molecular de la materia. El docente que asimila este modelo posee una herramienta clave para desarrollar todos los aspectos del currículo educativo en materia de ciencias.

Todo nuevo conocimiento se construye a partir de conocimientos previos. Por ello, la existencia de un preconcepto, no deconstruido<sup>[13]</sup>, que se opone a la explicación de los nuevos experimentos produce en el alumno un conflicto que suele solucionar aprendiendo la nueva información de memoria. Nuestra experiencia nos demuestra que el maestro puede utilizar la Teoría atómico-molecular para analizar y destruir estos preconceptos (por ejemplo: que la niebla es humo o que un abrigo da calor) y mejorar el proceso de aprendizaje de sus alumnos.

El modelo molecular también permite que el alumno aprenda, de forma significativa, el ciclo del agua de un modo completamente distinto<sup>[14]</sup> a como se viene enseñando en nuestras escuelas, como podemos observar en la Figura 10.

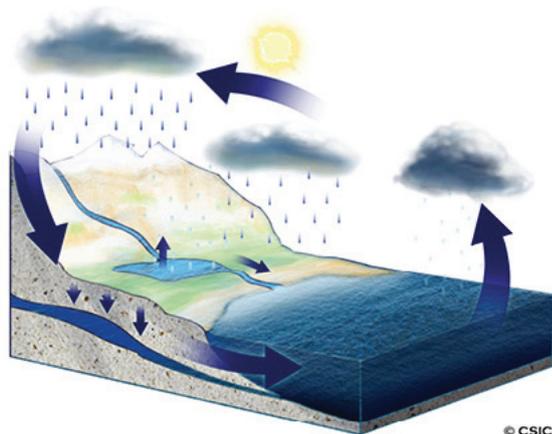
El maestro formado en la Teoría molecular de la materia adquiere un cuerpo de conocimiento fundamental que puede utilizar como base para desarrollar gran parte del programa de ciencias (Conocimiento del Medio o Ciencias Naturales) de Primaria. Por ejemplo, los maestros comprueban que el aprendizaje acerca del origen, percepción y transmisión del sonido es mucho más efectivo si antes han trabajado con sus alumnos el modelo cinético molecular de los gases; lo mismo ocurre cuando se aborda el tema “Máquinas y tecnologías” referido al funcionamiento de la máquina de vapor.

Nuestra labor en la formación científica del profesorado de las primeras etapas educativas es dotar al docente de un marco conceptual teórico y experimental que le ayude a comprender la Teoría atómica de la materia, de forma que pueda desarrollar con cierta competencia el programa de ciencias con sus alumnos. Algunas de estas experiencias consistirán en un experimento provocador, como puede ser el de la condensación de agua en un bote, que permitirán que el maestro trabaje la observación crítica de un fenómeno, la medida de magnitudes, la deducción lógica y la relación entre conceptos.

Pueden consultarse decenas de experiencias llevadas a cabo en el aula por profesores colaboradores de “El CSIC y la FBBVA en la Escuela”, en la sección “Ciencia en el Aula” de nuestro portal.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer la inestimable ayuda para este trabajo a José María López Sancho, investigador del IFF-CSIC y



**Figura 10.** Esquema del ciclo del agua que se puede encontrar en la mayoría de los libros de texto. Derecha: dibujo con la interpretación del ciclo del agua realizado por una alumna de 6 años del CEIP Fontarrón (Madrid, 2005), las bolitas representan moléculas de agua evaporándose. Fuente: Elaboración propia

director de “El CSIC y la FBBVA en la Escuela”. También a los maestros que realizaron las experiencias (y las fotografías) de este artículo, por orden de aparición: Luis Florián Ramos, José Javier Artázcoz, Marian Fernández, M.<sup>a</sup> Pilar Lasa, Ana Jose Saso, M.<sup>a</sup> Luisa Garde, M.<sup>a</sup> Blanca Carballo, Nuria Galarreta, Agustina Zapatería, Estela Serrano, Judith Jiménez, M.<sup>a</sup> Ángeles González, M.<sup>a</sup> Ángeles Rodríguez, Manuel Martín, Ana L. Palacios, M.<sup>a</sup> Carmen Jiménez, Sergio Rodríguez, M.<sup>a</sup> Blanca Carballo, Nuria Castellanos, Ana Cristina Rubín, Mariola Sanz, Rosario Arnau, Laura Caballero, Ana M.<sup>a</sup> Tárraga, Isabel M.<sup>a</sup> Sánchez y Rosa Martínez.

Mi reconocimiento y gratitud a los centenares de maestros adscritos al programa, cuya ilusión por aprender ciencia se traslada día a día a sus alumnos muchas veces en condiciones bastante difíciles.

Este artículo forma parte de las actividades de comunicación social de la ciencia previstas en el Proyecto “El CSIC y la FBBVA en la Escuela” 2013-2015 que cuenta con la financiación de la Fundación BBVA.

## BIBLIOGRAFÍA

[1] <http://digital.csic.es/handle/10261/85818>

J. M. López Sancho en *La naturaleza del conocimiento. Clave para entender el proceso de aprendizaje*, Serie Educadores, CSS. Madrid, 2003, pp. 23-27, 66-68.

[2] J. M. Oliva Martínez & J. A. Acevedo Díaz, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2005, 2, 241-250.

[3] <http://www.csicenlaescuela.csic.es>. Página Web del Proyecto El CSIC y la FBBVA en la Escuela. Consultada el 12/03/2015.

[4] M.<sup>a</sup> E. González Aguado, *Anales Quím.* 2007, 103(3), 54-58.

[5] J. D. Novak, *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, 2010, 6, 3, 21-30.

[6] R. P. Feynman, R. B. Leighton & M. Sands en *The Feynman Lectures on Physics, Mainly Mechanics, Radiations and Heat*, Vol. I, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1963, pp. 3-4.

[7] T. S. Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de cultura Económica, México, 2004, pp. 112-128.

[8] <https://digital.csic.es/handle/10261/83226>

Mendeleiev y el constructor de átomos. Material didáctico. “El CSIC y la FBBVA en la Escuela”. 2007.

[9] <http://digital.csic.es/handle/10261/85765>

J. M. López Sancho, et al. en *Descubriendo las moléculas: un proyecto para el aula, Material didáctico para profesores de Educación Infantil y Primaria*. Madrid, 2006, pp. 33-41.

[10] <http://digital.csic.es/handle/10261/85765>

J. M. López Sancho, et al. en *Descubriendo las moléculas: un proyecto para el aula, Material didáctico para profesores de Educación Infantil y Primaria*. Madrid, 2006, pp. 33-41.

[11] P. Mounoud, *Revista de Educación. Contextos Educativos*. 2001, 4, 53-77.

[12] <http://www.kids.csic.es> Página Web del portal KIDS.CSIC. Aprender ciencia es divertido. Consultada el 03/02/2015.

[13] <http://digital.csic.es/handle/10261/85818>

J. M. López Sancho en *La naturaleza del conocimiento. Clave para entender el proceso de aprendizaje*, Serie Educadores, CSS. Madrid, 2003, pp. 23-27, 66-68.

[14] <http://digital.csic.es/handle/10261/5002>

M.<sup>a</sup> J. Gómez Díaz, et al. *De la sopa a la condensación*. Material didáctico. “El CSIC y la FBBVA en la Escuela”. 2008.

## La XXXV Reunión Bienal de la RSEQ un éxito científico con más de 900 participantes

Entre el 19 y el 23 de julio de 2015 se celebró en la Universidad de A Coruña (UDC) la XXXV Reunión Bienal de la RSEQ, con participación de más de 900 congresistas. Dentro del nuevo modelo establecido por la RSEQ, el congreso se desarrolló en torno a 17 simposios que cubrieron las más diversas fronteras de la química actual. A modo de resumen en cifras, hubo 5 conferencias plenarios (incluyendo al Premio Nobel 2005, R.R. Schrock, y al Premio Príncipe de Asturias 2014, A. Corma), 75 conferencias invitadas, 151 comunicaciones orales, 342 comunicaciones en formato póster y la participación de una docena de empresas en la exposición comercial. Se abordó el reto de la internacionalización de la Bienal, consiguiendo una participación superior al 50% de investigadores ajenos al sistema de investigación español

entre los ponentes orales. Todos los eventos se realizaron en la sede de Palexco, en pleno centro de la ciudad, con una ubicación idónea y unos excelentes servicios. Durante el congreso se fallaron y entregaron varios premios, tanto de la Sociedad como de Grupos Especializados y de Wiley. Toda la información sobre el congreso, incluida una importante galería fotográfica del mismo, sigue disponible para su consulta en <http://www.bienal2015.cienciasudc.es/es/>.

Los organizadores estamos enormemente agradecidos a todos los patrocinadores que nos apoyaron y, muy especialmente a la participación y el buen hacer del excelente grupo de colaboradores que conseguimos reunir, todos estudiantes de doctorado en diversos grupos de investigación en Química de la UDC (en la fotografía).



La UDC incluyó la XXXV Bienal de la RSEQ como uno de los principales eventos de celebración de su 25 aniversario. Estamos enormemente satisfechos de haber acogido esta Bienal y esperamos seguir colaborando en el avance de la Química española.

## Los profesores Luis Oro, Avelino Corma y Jesús Jiménez-Barbero, distinguidos como “Fellows” por ChemPubSoc Europe 2015



Luis Oro



Avelino Corma



Jesús Jiménez Barbero

ChemPubSoc Europe ha establecido una distinción dedicada a los miembros que han destacado por su servicio a la química en Europa. Entre ellos, se encuentran Luis Oro (“Honorary Fellow”), Avelino Corma y Jesús Jiménez-Barbero (“Fellows”).

La distinción como “Honorary Fellow” reconoce el papel fundamental que jugó la persona en hacer que las Sociedades Químicas nacionales apoyasen una plataforma única de publicaciones. De acuerdo con ChemPubSoc Europe: “...su visión, esfuerzo y persistencia rompieron fronteras y promovieron colaboraciones entre las Sociedades. Las preferencias individuales se dejaron a un lado a favor de

un objetivo común...” La distinción como “Fellow” reconoce “...a personas que han apoyado y trabajado en este experimento único de una forma extraordinaria durante muchos años, llevando el espíritu de ChemPubSoc Europe alrededor del globo.

Los investigadores distinguidos fueron nominados por las Sociedades Nacionales para “reconocer su extraordinario compromiso con la excelencia científica, con la ética en las publicaciones y con los estándares más altos en la disseminación de los resultados científicos, las bases del éxito de ChemPubSoc Europe...”

## El profesor Miguel Valcarcel recibe el premio europeo DAC-EuChMS por su trayectoria científica y docente

En la ceremonia de apertura del congreso EURO-ANALYSIS, en su edición XVIII celebrado en Burdeos el día 7 de Septiembre de 2015, el profesor Valcárcel recibió de manos del Presidente de la División Analítica de la Asociación Europea de Ciencias Químicas y Moleculares, el premio DAC-EuChMS, en su primera edición después de su creación el pasado año.

En el diploma de este premio honorífico se especifica que esta concesión al profesor Valcárcel ha sido por “sus destacadas contribuciones a la investigación y docencia de las Ciencias Analíticas en general y en particular en las áreas de Nanociencia y Nanotecnología Analíticas, Automatización en el laboratorio, Análisis por Inyección el Flujo, Sensores de flujo continuo, técnicas de separación no-cromatográficas, Extracción con Fluidos supercríticos, y Metrología en Química”.

El profesor Valcárcel impartió en esta sesión inaugural la conferencia de apertura titulada “*Quo vadis, Analytical Chemistry?*” ante un auditorio de más de 600 personas. Previamente en su discurso de aceptación quiso compartir el



El profesor Miguel Valcarcel recibe el premio durante el congreso Euroanalysis XVIII en Burdeos, Francia

galardón con su familia, con la Universidad de Córdoba y con los miembros del grupo de investigación que dirige, la mayoría de los cuales fueron testigos de la ceremonia.

## El programa *For Women in Science* premia a doctora Laura Masgrau



Acto de entrega de las Bolsas de Investigación l'Oréal-UNESCO *For women in science*

Laura Masgrau, investigadora y subdirectora del Instituto de Biotecnología y de Biomedicina (IBB) de la *Universitat Autònoma de Barcelona*, y miembro de la RSEQ, recibe una de las cinco Bolsas de Investigación que el programa l'Oréal-UNESCO *For women in science* da cada año en España.

La bolsa, de 15.000 euros para un año, valora la trayectoria científica de las candidatas (menores de 40 años y en fase inicial como investigadoras independientes), el proyecto que presentan y su capacidad de difusión y promoción de la ciencia. El proyecto presentado por Laura Masgrau, explorará la posibilidad de inhibir una enzima sialiltransferasa relacionada con la capacidad de metástasis en cáncer colorectal como vía terapéutica complementaria para disminuir una alta tasa de recaídas en este tipo de cáncer. La estrategia consiste en combinar el diseño computacional de inhibidores con el uso de nanopartículas específicas para las células diana.

## La profesora Irina P. Beletskaya nombrada doctora Honoris Causa por la Universidad de Alicante

La profesora Irina P. Beletskaya fue nombrada Doctora Honoris Causa por la Universidad de Alicante el pasado 30 de junio. Como padrino actuó el doctor Francisco Alonso Valdés, Director del Instituto de Síntesis Orgánica de dicha Universidad.

La profesora Beletskaya se graduó y se doctoró en Química por la Universidad Estatal Lomonosov de Moscú en 1955 y 1963, respectivamente, llegando a ser Catedrática en 1971. En 1992 fue nombrada Académica de pleno derecho de la Academia de Ciencias de Rusia. Desde 1989 es Directora del Laboratorio de Química de los Organoelementos de dicha Universidad.

Su prolífica actividad científica se resume en más de 1000 artículos, 4 libros, 11 capítulos de libro, unas 35 revisiones y la dirección de más de 100 tesis doctorales. Dicha actividad científica ha sido reconocida con el nombramiento de tres Doctorados Honoris Causa por las Universidades de Córdoba (Argentina), Técnica de San Petersburgo y Real Instituto de Tecnología de Estocolmo; con el de miembro Honorífico de la Academia de Ciencias de Bashkir y Tarrant Distinguished Visiting Professor of Organic Chemistry (Universidad de Florida); con la concesión de los premios Lomonosov, Mendeleev, Nesmeyanov, Kapitzka (UK), Demidov, Arbuzov y Balandin; recibió la "Order of the Red Banner", el título de Profesora Honorífica de la Universidad Estatal de Moscú, el Premio Estatal de la Federación Rusa, el "Women in the Engineering Science Award" y el "IUPAC Distinguished Women in Chemistry or Chemical Engineering Award".



La profesora P. Beletskaya durante la ceremonia de nombramiento como doctora Honoris Causa

Ha ocupado u ocupa multitud de cargos de gestión y administración científica a nivel nacional, entre los que cabe destacar el de Editora en Jefe de la revista "Russian Journal of Organic Chemistry", miembro de los consejos científicos sobre Catálisis y Química Orgánica de la Academia de Ciencias de Rusia, así como miembro de la Comisión Gubernamental sobre el Estado de la Ciencia y Tecnología afiliada a la oficina del Presidente de la Federación Rusa.

Su mayor dedicación a la gestión en el ámbito internacional ha sido la de los servicios prestados a la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), para la que ha actuado como Secretaria, Vicepresidenta y Presidenta de la División de Química Orgánica.

## VIII Edición de la School on Organometallic Chemistry Marcial Moreno Mañas

Del 15 al 17 de junio tuvo lugar en Sevilla la Octava Edición de la School on Organometallic Chemistry Marcial Moreno Mañas, en el Pabellón de México de la Universidad de Sevilla. La Escuela, organizada por la red Orfeo-Cinca, contó con la participación de 127 asistentes, fundamentalmente estudiantes de doctorado y posdoctorales. La Escuela fue inaugurada por el Vicerrector de Investigación de la Universidad de Sevilla, Manuel García León.

La Escuela, que se celebra anualmente, tiene como objetivo la formación de estudiantes de doctorado y posdoctorales en el área de la Química Organometálica y la

Catálisis Homogénea. Con este fin reúne a conferenciantes de reconocido prestigio en estas áreas de investigación y favorece la presentación de la investigación llevada a cabo por investigadores jóvenes. En esta edición, las conferencias corrieron a cargo de los profesores Janine Cossy (ESPCI Paris Tech), Igor Larrosa (University of Manchester), Stuart Macgregor (Heriot-Watt University), Hansjörg Grützmacher (ETH Zurich), Don Tilley (University of California, Berkeley), Thibault Cantat (CEA-Saclay) y Luisa de Cola (Université de Strasbourg). Por su parte, los investigadores jóvenes presentaron un total de 14 charlas cortas y 36 presentaciones flash. Para su des-



Foto de Grupo de los Participantes en la VIII Escuela MMM

arrollo, la Organización de este evento ha contado con la ayuda de la Universidad de Sevilla, la Real Sociedad Española de Química por medio de sus grupos especializados de Química Orgánica y Química Organometálica,

así como del de Jóvenes Investigadores y, también, con el apoyo de varios patrocinadores de la industria.

La próxima edición de esta Escuela tiene previsto celebrarse en San Sebastián en julio de 2016.

## Acto de entrega de los premios del 7.º Concurso de Química “Química con luz” organizado por la Sección Territorial de Málaga (RSEQ)

El pasado día 5 de junio en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga tuvo lugar la entrega de los Premios del 7.º Concurso de Química que con el título *Química con Luz* ha organizado la Sección Territorial de Málaga de la Real Sociedad Española de Química con la colaboración de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Málaga.

El concurso estaba dirigido a Profesores y Alumnos de la Provincia de Málaga y dividido en dos categorías: ESO y Bachillerato. La Sección Territorial y la Facultad de Ciencias han mantenido su esfuerzo para dotar con un premio y dos accésits para la categoría de E.S.O. y un premio para la categoría de Bachillerato.

Para la entrega de los premios contamos con la presencia del profesor Luis Castedo catedrático *Ad Honorem* de la Universidad de Santiago de Compostela, de la profesora Teresa Lupión en representación de la Delegada de Educación en Málaga y la del profesor Francisco Palma Decano de la Facultad de Ciencias. Además de los



Fotos de los premiados



Foto de la mesa presidencial

profesores Juan Teodomiro López Navarrete, en su calidad de Presidente de la Sección Territorial de Málaga de la RSEQ y Francisco Nájera Albendín, Secretario de la ST-Málaga de la RSEQ.

Los premios fueron los siguientes:

#### Enseñanza Secundaria Obligatoria

- PREMIO: Al equipo del Colegio Concertado M<sup>a</sup> Auxiliadora, coordinado por la Profesora Yolanda Alarcón López e integrado por alumnos de 4<sup>o</sup> de E.S.O., por el trabajo titulado: *Arco iris químico*.
- ACCÉSIT: Al equipo del I.E.S. Itaba, coordinado por el Profesor Antonio Joaquín Recio Miñarro e integrado por alumnos de 4<sup>o</sup> de E.S.O., por el trabajo titulado: *Quimioluminiscencia: las sustancias químicas emiten luz*.
- ACCÉSIT: Al equipo del I.E.S. Manuel Romero coordinado por la Profesora María Luisa Prolongo Sarria e integrado por alumnos de 4<sup>o</sup> de E.S.O., por el trabajo titulado: *Usar la luz para hacer experimentos químicos*.

#### Bachillerato

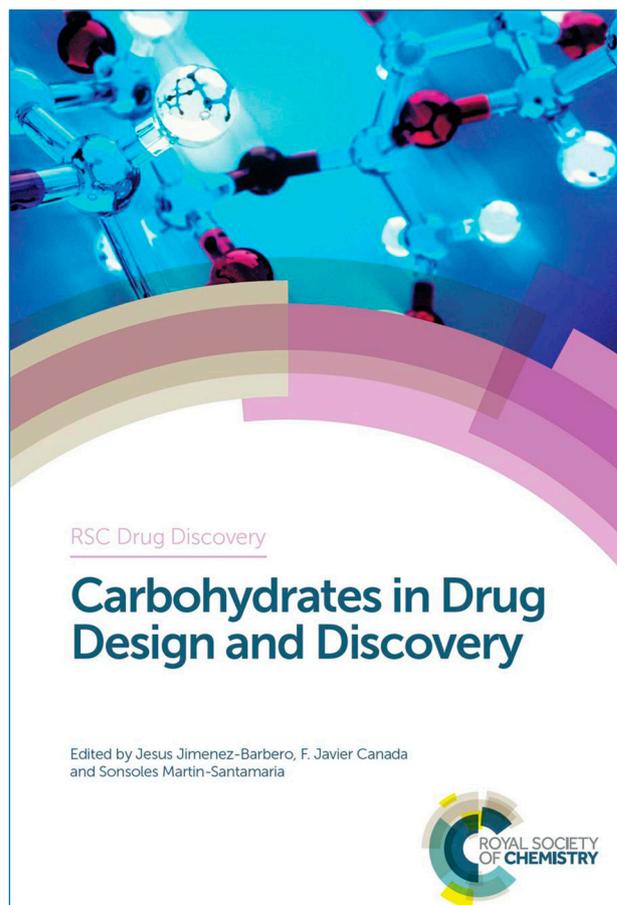
- PREMIO: Al equipo del I.E.S. Bezmiliana coordinado por las Profesoras Ana M<sup>a</sup> Martínez Martín e Inmaculada Durán Torres e integrado por alumnos de 2<sup>o</sup> de Bachillerato por el trabajo titulado: *Química con luz*.

La Real Social Española de Química en Málaga ha pretendido con este concurso, por un lado, promover, desarrollar y divulgar la disciplina de la Química, tanto en su aspecto de ciencia pura como en el de sus aplicaciones; y por otro, estimular la creatividad de los alumnos de Secundaria Obligatoria y Bachillerato hacia el conocimiento de la Ciencia como una parte fundamental de nuestra vida.

La organización aprovecha esta ocasión para ofrecer su colaboración en cualquier actividad que se desarrolle en el ámbito de nuestra sección territorial, y que permita acercar la ciencia en general y la química en particular al gran público.

Los carbohidratos constituyen una de las familias más importantes de biomoléculas debido a su abundancia y a la variedad de los procesos biológicos en los que intervienen. Aunque tradicionalmente la importancia de los carbohidratos se ha restringido a funciones estructurales y energéticas (metabólicas), durante la última década se ha puesto de manifiesto su relevancia en procesos de reconocimiento molecular. Esta capacidad se basa fundamentalmente en la gran diversidad y complejidad estructural de los carbohidratos, característica que les permite reconocer con alta eficacia y especificidad otras biomoléculas. Además, estas interacciones regulan procesos fisiológicos y patológicos importantes, por lo que su estudio reviste una enorme importancia para el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas en áreas tan diversas como el cáncer, las enfermedades neurodegenerativas o los procesos infecciosos mediados por microorganismos. En este contexto, el libro *Carbohydrates in Drug Design and Discovery*, editado por Jesús Jiménez-Barbero, F. Javier Cañada y Sonsoles Martín Santamaría, proporciona una visión general sobre los avances más recientes en el área de los carbohidratos y el papel de estas moléculas en el descubrimiento de fármacos.

La obra se organiza en doce capítulos estructurados en cuatro secciones temáticas que cubren los aspectos más relevantes incluyendo: (i) las interacciones carbohidrato-biomolécula; (ii) el estudio de biomoléculas de naturaleza (poli)sacárida; (iii) gliconanotecnología, y (iv) aplicaciones terapéuticas de los carbohidratos. Así, los dos primeros capítulos están enfocados a la aplicación de nuevas metodologías de RMN para la obtención de información estructural de la interacción proteína-carbohidrato. A continuación, una serie de capítulos (3, 4 y 9) se centran en algunas moléculas de especial importancia en el área de la glicobiología. Para ello se han seleccionado tres ejemplos paradigmáticos de moléculas con importantes funciones fisiopatológicas: una molécula pequeña (galactofuranosa) y dos macromoléculas (lipopolisacárido y receptor DC-SIGN). Así, el capítulo 9 profundiza en los aspectos biosintéticos y en la relevancia terapéutica de la galactofuranosa, mientras que los capítulos 3 y 4 describen en profundidad las características más relevantes estructurales, funcionales y moleculares del lipopolisacárido bacteriano y del receptor DC-SIGN. Por último, las dos secciones restantes (capítulos 5-8 y 10-12) cubren las aplicaciones más recientes de los carbohidratos a la nanotecnología y a aplicaciones terapéuticas específicas en el área del cáncer, de las enfermedades neurodegenerativas y de las infecciones bacterianas.



**Autores:** J. Jiménez-Barbero, F. Javier Cañada y S. Martín Santamaría (eds.)  
**Páginas:** 400  
**Formato:** 234 x 156mm  
**ISBN:** 9781849739399  
**Publicación:** 31/03/2015 (Royal Society of Chemistry)

En conjunto, este libro ofrece al lector un recorrido a través de los aspectos más relevantes de la glicobiología relacionados con el descubrimiento de fármacos y proporciona un nivel adecuado para estudiantes de posgrado y profesionales que trabajen en el área de la química médica, orgánica o bioquímica tanto en la industria como en la academia y que quieran profundizar en determinados aspectos de este apasionante campo.

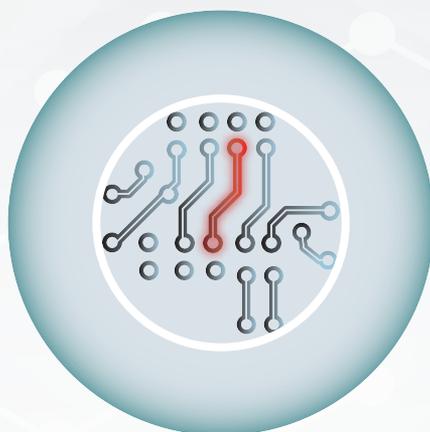
SILVIA ORTEGA GUTIÉRREZ  
Departamento de Química Orgánica I  
Universidad Complutense de Madrid

# MATERIALS TO DRIVE INNOVATION



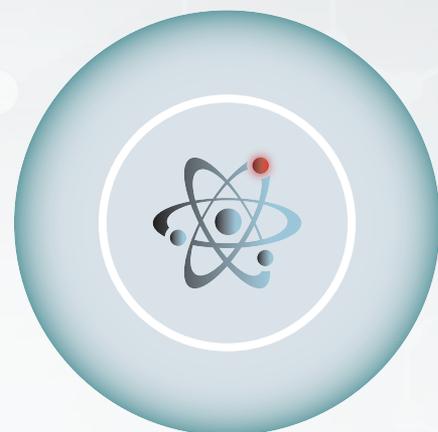
## BIOMEDICAL

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



## ELECTRONICS

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



## ENERGY

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

Find more information on our capabilities at  
[aldrich.com/matsci](http://aldrich.com/matsci)

*Enabling Science to  
Improve the Quality of Life*

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

**World Headquarters**  
3050 Spruce St.  
St. Louis, MO 63103  
(314) 771-5765  
[sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)