



cicCartuja

centro de
investigaciones científicas
isla de la cartuja

Cuadernos de Divulgación Científica

∞

Encuentros con la Ciencia

2

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
<i>Una apuesta decidida por la divulgación</i>	
Miguel Ángel de la Rosa Acosta.....	7
CONFERENCIA INAUGURAL	9
<i>Diez descubrimientos que cambiaron la visión del mundo</i>	
Manuel Lozano Leyva	11
INSTITUTO DE BIOQUÍMICA VEGETAL Y FOTOSÍNTESIS	13
<i>El poder de la cisteína</i>	
Cecilia Gotor Martínez	15
<i>¡Las bacterias no son tan simples! Desde células individuales hasta organismos complejos.....</i>	19
Victoria Merino-Puerto, Antonia Herrero y Enrique Flores Garcia	
INSTITUTO DE CIENCIA DE MATERIALES DE SEVILLA	23
<i>Aplicaciones tecnológicas de películas delgadas</i>	
Juan Pedro Espinós Manzorro	25
<i>Ciencia y tecnología al servicio del arte</i>	
Adrián Durán Benito	29
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS	35
<i>El desafío de transportar medicamentos a células, tejidos y órganos: el potencial terapéutico del transporte selectivo de fármacos</i>	
Juan Manuel Benito Hernández	37
<i>La Química Organometálica: qué es, para qué se utiliza y su contribución a la sociedad</i>	
Salvador Conejero	40
NOTAS SOBRE LOS AUTORES.....	44
COMISIÓN DE DIVULGACIÓN CICCARTUJA.....	46

“La ciencia contribuye a la liberación del ser humano, a la superación de lo desconocido
y supone la extensión natural de la imaginación y la memoria”

Jorge Luis Borges

INTRODUCCIÓN

Una apuesta decidida por la divulgación

MIGUEL ÁNGEL DE LA ROSA ACOSTA

Director del cicCartuja

El Centro de Investigaciones Científicas Isla de la Cartuja (cicCartuja) es una institución pública cuyo principal objetivo es la generación de conocimiento mediante el trabajo de investigación científica desarrollado en sus tres Institutos: Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis (IBVF), Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (ICMS) e Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ).

El cicCartuja destaca entre los centros de su naturaleza por la interdisciplinariedad de sus estudios y por la colaboración continua de las instituciones que lo patrocinan: el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), la Junta de Andalucía y la Universidad de Sevilla.

En el año 2010, el cicCartuja ha reforzado su apuesta por la difusión y divulgación científicas, habiendo creado dos instrumentos de comunicación fundamentales. Por un lado, el portal electrónico www.ciccartuja.es, que canaliza las principales novedades del Centro en una doble vertiente interna y externa; por otro, la Oficina de Comunicación, órgano de prensa y núcleo gestor de la actividad informativa.

La tarea divulgativa del cicCartuja también se ha mejorado ofreciendo la información en formatos que confieren más profundidad a los temas de estudio de los científicos, como son las entrevistas y los vídeos en el portal www.ciccartuja.es.

En este contexto se encuadra la participación del cicCartuja en dos eventos anuales de máxima relevancia científico-social: la Feria de la Ciencia (festejada en mayo de 2010 y dedicada temáticamente a la Biodiversidad) y la Semana de la Ciencia y la Tecnología, fruto de la cual surgen estos nuevos *Cuadernos de Divulgación Científica cicCartuja*, que cumplen su segunda edición.

Los temas presentes en este volumen han sido elegidos con tacto, teniendo siempre presente que el público al que se dirigen las charlas de esta Semana son estudiantes de la asignatura “Ciencias para el Mundo Contemporáneo”, impartida en Bachillerato. Precisamente pensando en estos chicos y en la promoción de sus vocaciones científicas, se han seleccionado los contenidos de las charlas y se ha organizado la visita posterior por las instalaciones del Centro.

La primera de las ponencias en estos *Cuadernos de Divulgación Científica* corre a cargo de Manuel Lozano Leyva, Catedrático de Física Atómica, Molecular y Nuclear de la Universidad de Sevilla. Su artículo, titulado “Diez descubrimientos que cambiaron la visión del mundo”, supone una muestra del interés del cicCartuja por abrir sus puertas a investigadores procedentes de otras instituciones, con las que desea colaborar para el avance de la ciencia.

Los siguientes artículos tratan temáticas más específicas de cada uno de los tres Institutos de investigación del cicCartuja. Así, el Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis participa en las jornadas con contenidos sobre la cisteína -componente esencial para el funcionamiento de las proteínas- y la multicelularidad de las bacterias. El Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla se hace presente con sendas charlas sobre las tecnologías aplicadas al estudio y análisis de las obras de arte y al de películas sólidas delgadas. El Instituto de Investigaciones Químicas, por su parte, interviene con una exposición acerca del transporte de medicamentos a las células, tejidos y órganos, y finaliza con una ponencia sobre la química organometálica.

Con esta segunda edición de los *Cuadernos de Divulgación Científica*, el cicCartuja pretende ver cumplido uno de sus objetivos más ambiciosos, la divulgación científica como cultura al alcance de una sociedad plural y del conocimiento, al tiempo que reconoce y agradece públicamente el compromiso de todos sus miembros que lo han hecho posible.

CONFERENCIA INAUGURAL

Diez descubrimientos que cambiaron la visión del mundo

MANUEL LOZANO LEYVA

Catedrático de Física Atómica, Molecular y Nuclear
Universidad de Sevilla

Resumen:

En la charla se presentarán resumidamente los diez descubrimientos científicos que el autor ha elegido como preferencia personal. Se hará de manera que se vaya reduciendo la escala de dimensiones en órdenes de magnitud. Así, como descubrimiento fundamental del macrocosmos, se discute el hecho de que el universo no tiene como pilares básicos las estrellas, sino las galaxias. Se van reduciendo los millones de años luz hasta llegar a la escala terrestre, es decir, los 10.000 kilómetros. La teoría de la Tectónica de placas y su confirmación en geología se considera tan importante como la relatividad o la mecánica cuántica en física.



Figura 1. Galaxias, pilares básicos del Universo. Imagen tomada por el telescopio espacial Hubble.

En la escala de la decena de metros, un descubrimiento esencial es el origen de las especies y su evolución por el mecanismo de la selección natural. En un metro, o sea, la dimensión humana, se hablará de la importancia que tuvo la circulación de la sangre, hallazgo que, por el método que estableció, convirtió a la medicina, o más precisamente la fisiología, en una ciencia. Sin cambiar de escala, pero sí de campo del saber, adentrándonos en las humanidades, se discute el impacto que tuvo el descubrimiento de la piedra Rosetta en la filología y la historia. Con ella se inició el desciframiento de los jeroglíficos egipcios, lo que permitió la exploración de una de las civilizaciones más antiguas, y hasta entonces, el siglo XIX, más desconocidas.



Figura 4. El estudio de la circulación sanguínea fue el inicio de la medicina como ciencia.



Figura 5. La piedra Rosetta amplió las investigaciones filológicas.

En la escala de los micrómetros, el descubrimiento clave elegido fue el de los microorganismos. En particular, el hecho de poder identificar las bacterias permitió llegar a conocer las causas de enfermedades terribles y propició el descubrimiento de la vacunación. El siguiente escalón, que nos sitúa ya en los nanómetros, nos lleva a los genes y al desarrollo de la genética. Esta ciencia se presenta como la cuantificación del fenómeno de la vida y la confirmación a escala molecular de la teoría de Darwin. El octavo descubrimiento es el de los átomos, en la escala de los picómetros, hipótesis que posiblemente haya sido la que se ha mantenido más tiempo sin confirmar: unos 24 siglos. En los fentómetros se pone el énfasis en el papel que juegan las simetrías en el microcosmos del mundo subnuclear. Finalmente, ya sin corresponder a dimensión alguna, se presenta el infinitésimo, es decir, cantidades tan pequeñas como se quiera sin que llegue nunca a ser cero, y la importancia de este último concepto.



Figura 6. La identificación de las bacterias propició el descubrimiento de las vacunas.



Figura 7. La genética, origen de la expresión de los caracteres hereditarios en los seres vivos.

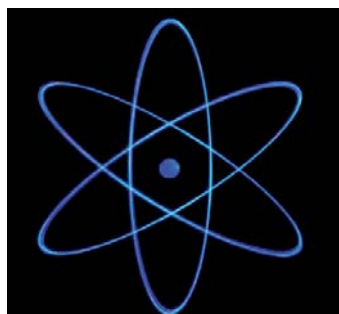


Figura 8. El hallazgo de la composición atómica resultó fundamental para la física nuclear.

En resumen, como puede verse, se han elegido para su presentación descubrimientos decisivos en campos diversos y fundamentales de la ciencia: la astrofísica, la geología, la biología, la medicina, la filología, la física y las matemáticas. Todo ello, además de la amenidad que puede suponer en su presentación, anima a un debate que bien puede comenzar discutiendo si la elección del autor ha sido acertada o si otros descubrimientos se consideran más importantes que los presentados.

INSTITUTO DE BIOQUÍMICA
VEGETAL Y FOTOSÍNTESIS

El poder de la cisteína

CECILIA GOTOR MARTÍNEZ

Contenidos:

Se describe el aminoácido proteinogénico cisteína que presenta como grupo funcional un grupo tiol, que le confiere una gran reactividad a la molécula de cisteína. Se hace una reseña de diferentes aspectos que ponen de manifiesto la importancia de la cisteína en los seres vivos y se profundiza en la esencialidad de esta molécula en el desarrollo de las plantas, haciendo especial referencia a las investigaciones desarrolladas por el grupo de investigación que dirige la ponente.

Palabras claves:

Aminoácido, cisteína, enzima, inmunoglobulina, insulina, metal, oxidación, patógeno, plantas, proteína, puente disulfuro, senescencia, tiol

Resumen:

Cisteína es un aminoácido proteinogénico con un grupo tiol, que le confiere una gran reactividad. Por oxidación da lugar a un puente disulfuro, esencial para la estructura y función de las proteínas, tales como enzimas, inmunoglobulinas G e insulina. La cisteína es molécula precursora de numerosos metabolitos azufrados necesarios para el desarrollo de la vida. La síntesis de cisteína por las plantas se considera un proceso biológico clave. Las investigaciones en plantas de nuestro grupo han demostrado que cisteína ejerce un papel esencial en las respuestas de las plantas a situaciones de estrés, influye en la senescencia y en la función de los cloroplastos.

1. Introducción

Las proteínas son macromoléculas constituyentes de los seres vivos (biomoléculas), que desempeñan un papel fundamental para la vida debido a su versatilidad y diversidad. Son imprescindibles para el crecimiento del organismo y desempeñan una enorme cantidad de funciones diferentes, como estructurales, reguladoras, defensivas, enzimáticas, transportadoras, contráctiles.

Las proteínas están constituidas por cadenas lineales de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos entre un grupo carboxilo y un grupo amino de aminoácidos adyacentes. Estas cadenas lineales adoptan disposiciones o plegamientos característicos (conformación) en las condiciones fisiológicas de pH y temperatura que existen en los seres vivos. La función específica de cada proteína depende de su conformación y ésta viene determinada por la secuencia de los aminoácidos presentes en las cadenas lineales. Esta secuencia de aminoácidos está codificada por la información genética presente en el ADN de las células.

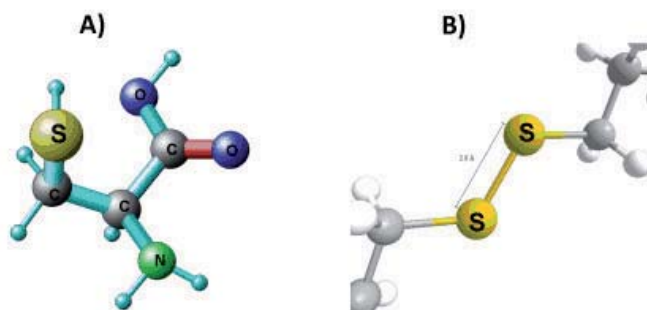
Los aminoácidos que forman parte de las proteínas son moléculas orgánicas que están formadas por un carbono (denominado alfa) unido a un grupo carboxilo, a un grupo amino y a una cadena (denominada R) de estructura variable que es la que determina la identidad y propiedades de cada aminoácido. Sólo son 20 aminoácidos con cadenas R diferentes los que forman las proteínas. De estos 20 aminoácidos sólo dos de ellos contienen azufre (S) en la cadena R, la metionina y la cisteína.

El azufre es un mineral con muchas propiedades beneficiosas. Ayuda a mejorar la calidad del cabello, uñas y piel, ya que se encuentra presente en la queratina y el colágeno, favorece la depuración de toxinas y la secreción de bilis por parte del hígado, puede aliviar los dolores óseos y musculares, es muy necesario en la regulación de los niveles de azúcar en sangre, puesto que se encuentra en la insulina, etc. La mayoría del azufre que se consume en la dieta procede de los aminoácidos metionina y cisteína presentes en los alimentos ricos

en proteínas. El azufre también está presente en alimentos como ajo, cebolla, col, coliflor, brócoli, en forma de otros compuestos derivados de la cisteína, y esta presencia se ha asociado a los beneficios para la salud de estos alimentos. La carencia de azufre en el organismo se ve reflejada en un retraso en el crecimiento debido a su relación con la síntesis de las proteínas. Su exceso no es tóxico y es eliminado por el organismo a través de la orina.

2. El grupo tiol de la cisteína

La cisteína es un aminoácido proteinogénico (componente de las proteínas) cuya cadena R es un grupo tiol o también denominado sulfhidrilo (-SH). Este grupo confiere una gran reactividad a la molécula de cisteína, siendo el tiol el que participa en las reacciones en las que participa la cisteína, actuando como nucleófilo. Por eso, se define como el grupo funcional de cisteína (Figura 1A).



Un aspecto importante de la gran reactividad del grupo tiol de la cisteína es su gran afinidad por los iones metálicos. Se une a metales como hierro, zinc, cobre o níquel, originando proteínas enlazadas a metales que son esenciales para el desarrollo de la vida. Pero además el grupo tiol de la cisteína tiene también una gran afinidad por los metales pesados y existen proteínas que enlazan cadmio, mercurio, plomo, como sistemas defensivos frente a estos contaminantes.

El tiol también es susceptible a la oxidación para dar lugar a un puente disulfuro entre dos moléculas de cisteína mediante un enlace covalente fuerte (Figura 1B). Este enlace es muy importante en la estructura, plegamiento y función de las proteínas, facilitando la estabilidad de las mismas. El puente disulfuro puede producirse entre dos cisteínas de una única cadena (puente intramolecular) o entre dos cadenas separadas (puente intermolecular). Además, algunas proteínas pueden sufrir procesos de reducción / oxidación de los puentes disulfuros de forma reversible como un mecanismo de regulación redox de sus funciones.

3. La importancia de la cisteína en los seres vivos

Un ser vivo puede ser considerado, de forma muy simplista, como un conjunto de reacciones químicas, que para que se produzcan en las condiciones fisiológicas de pH y temperatura deben estar catalizadas por las enzimas. Las enzimas son proteínas que ejercen dicha función catalítica cuando poseen el plegamiento / conformación adecuada. Como se describió anteriormente, los puentes disulfuro entre dos moléculas de cisteína son en la mayoría de las ocasiones determinantes de dichos plegamientos y por tanto de la funcionalidad de las enzimas. Además en muchas de las reacciones esenciales catalizadas por enzimas participan los grupos tiólicos de cisteínas localizadas en los denominados sitios activos, que son los sitios físicos de la enzima donde se produce la transformación de una sustancia a un producto. Como también se ha hecho ya mención, muchas enzimas sufren procesos de reducción/oxidación de los puentes disulfuros como un mecanismo redox de regulación de sus funciones. Estos puentes disulfuros son también esenciales en la respuesta inmune ya que posibilitan la unión de la cadena ligera y pesada de las inmunoglobulinas G. Otro ejemplo importante es el de la molécula de insulina que es plegada en su estructura nativa y fijada en su conformación por la formación de dos puentes disulfuro (Figura 2).

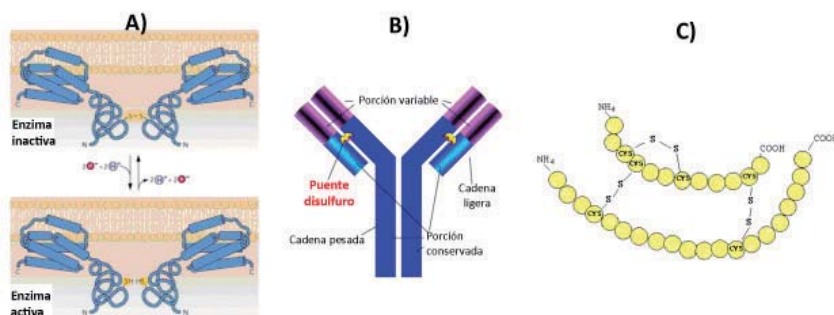


Figura 2. Ejemplos de la importancia de la cisteína en los seres vivos.

A) Activación de una enzima por reducción de un puente disulfuro intermolecular.

B) Estructura general de las inmunoglobulinas G.

C) Estructura de la insulina.

Otro aspecto no menos importante de la cisteína es que es la molécula precursora a partir de la cual se sintetizan numerosos metabolitos azufrados necesarios para el desarrollo de la vida, tales como moléculas antioxidantes como el glutatión. También las denominadas agrupaciones sulfoféricas, que son uniones de átomos de hierro con átomos de azufre provenientes de la cisteína, tal como se ha descrito anteriormente, y que se unen de forma covalente a proteínas esenciales para la vida, como algunas de las que participan en el proceso de respiración en la mitocondria o en el proceso de la fotosíntesis en el cloroplasto de las plantas. Cisteína es, además, precursor de vitaminas como la tiamina (B1) y la biotina (B7).

Las investigaciones que desarrolla nuestro grupo se centran en el estudio de la ruta de biosíntesis de cisteína en plantas así como la implicación de este metabolito en las respuestas defensivas de las plantas a condiciones ambientales adversas. Cabe destacar que muchos de los mecanismos de defensa desarrollados por las plantas frente a diversas condiciones de estrés implican metabolitos azufrados, que derivan de cisteína (Figura 1). Mediante diversas aproximaciones experimentales hemos obtenido plantas modificadas genéticamente que presentan o bien una mayor síntesis de cisteína que las plantas silvestres, y por tanto son productoras de cisteína, o bien una menor síntesis de cisteína, y por tanto tienen niveles reducidos de cisteína en comparación con las plantas silvestres. Nuestros resultados demuestran que la cisteína ejerce un papel esencial en la defensa de las plantas a situaciones de estrés como la presencia de metales pesados en los suelos (Figuras 2, 3). De esta forma, una planta con una mayor acumulación de cisteína es capaz de atrapar el metal pesado como el cadmio mediante la formación de uniones con los grupos tiólicos de las cisteínas y así acumular el metal en una forma menos tóxica (Figura 3A). También las plantas productoras de cisteína son menos susceptibles a la infección por organismos patogénicos como bacterias y hongos, debido a la facilidad del tiol de la cisteína a ser oxidado (Figura 3B).

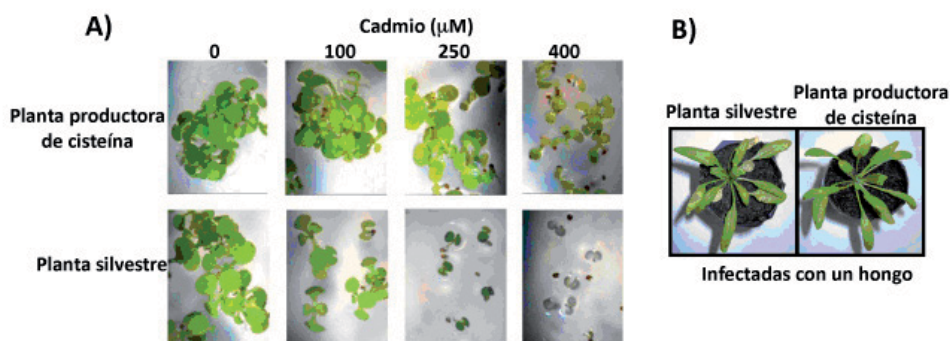


Figura 3. Resistencia de plantas productoras de cisteína a la presencia de concentraciones crecientes de cadmio (A) y a la infección por el hongo *Botrytis cinerea* (B).

Nuestras investigaciones además han mostrado que los niveles de cisteína que posee la planta influyen en el proceso de senescencia (envejecimiento) de las plantas (Figura 3). Así, una planta que presenta mayores concentraciones de cisteína que la planta silvestre entra en el proceso de senescencia de forma prematura cuando

se compara con la planta silvestre (Figura 4A). Otro aspecto también muy importante que hemos determinado es que la concentración de cisteína en la planta influye en la adecuada función de los cloroplastos y por tanto en el desarrollo de la planta, cuando las condiciones lumínicas son variables (Figura 4). De esta forma, una reducción de los niveles de cisteína origina una planta con menor contenido en clorofila y por tanto más amarillenta, y de un menor tamaño cuando se compara con una planta silvestre. Además, estas características se hacen más evidentes cuando la planta crece durante más tiempo en la luz (Figura 4B).

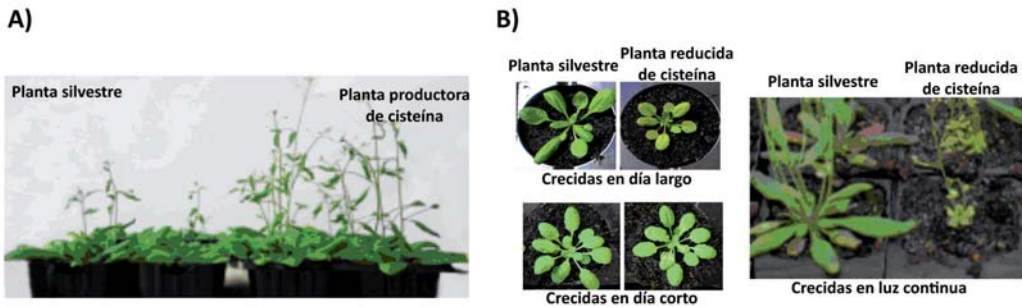


Figura 4. Efecto de la concentración de cisteína de la planta en el proceso de senescencia (A) y las características fenotípicas (B) cuando se crecen durante días cortos (8 h luz), días largos (16 h luz), y luz continua.

4. Conclusiones

La importancia de la cisteína para los seres vivos radica en que es determinante de la estructura y función de numerosas proteínas que desempeñan un papel fundamental para la vida. Además es una molécula precursora a partir de la cual se sintetizan metabolitos azufrados necesarios para el desarrollo de la vida. La síntesis de cisteína por las plantas es clave, ya que constituye la fuente inicial del azufre que necesitamos, ejerce un papel esencial en la defensa de las plantas a situaciones de estrés, influye en el proceso de senescencia (envejecimiento) de las plantas y en la adecuada función de los cloroplastos.

5. Bibliografía

- Rausch T, Wachter A. (2005): "Sulfur metabolism: a versatile platform for launching defence operations". *Trends in Plant Sciences* 10: 503-509
- Domínguez-Solís J.R., Gutiérrez-Alcalá G., Vega J.M., Romero L.C., Gotor C. (2001): "The cytosolic O-acetylserine(thiol)lyase gene is regulated by heavy metals and can function in cadmium tolerance". *Journal of Biological Chemistry* 276: 9297-9302
- Álvarez C., Calo L., Romero L.C., García I., Gotor C. (2010): "An O-acetylserine(thiol) lyase homolog with L-cysteine desulfhydrase activity regulates cysteine homeostasis in Arabidopsis". *Plant Physiology* 152: 656-669
- Bermúdez M.A., Páez-Ochoa M.A., Gotor C., Romero L.C. (2010): "Arabidopsis S-sulfocysteine synthase activity is essential for chloroplast function and long-day light-dependent redox control". *The Plant Cell* 22: 403-416

6. Páginas webs de interés

www.plantsulfur.org

¡Las bacterias no son tan simples!

Desde células individuales hasta organismos complejos

VICTORIA MERINO-PUERTO, ANTONIA HERRERO Y ENRIQUE FLORES GARCÍA

Palabras claves:

Estructura bacteriana; importancia de las cianobacterias en la formación de la atmósfera actual; principales características y diferentes tipos de células de las cianobacterias.

Resumen:

Aunque pueda parecer que las bacterias son organismos muy simples con los mecanismos básicos para el desarrollo de la vida, realmente estos diminutos seres son enormemente complejos. Además, son los inventores de la gran mayoría de los procesos metabólicos que se encuentran en los organismos superiores. La complejidad es tal que algunos grupos bacterianos, como el de las cianobacterias multicelulares, presentan procesos de diferenciación celular y relaciones intercelulares al igual que los animales y las plantas.

1. Introducción

Se estima que nuestro planeta se formó hace unos 4.600 millones de años. En aquellos momentos la Tierra era completamente inhóspita, con una atmósfera rica en vapor de agua, N_2 , CO_2 , NH_4^+ y monóxido de carbono y con unas temperaturas muy elevadas. En este planeta sólo era posible la aparición de algunos compuestos complejos. Una serie de condiciones convergieron en el tiempo permitiendo la generación de las primeras moléculas orgánicas, las cuales dieron paso a la formación de los primeros seres vivos, las primeras bacterias, hace unos 4.000-3.600 millones de años. En la Tierra primitiva predominaban las condiciones reductoras, por lo que es probable que los primeros organismos llevaran a cabo un metabolismo anaeróbico. Hace al menos unos 2.500-2.200 millones de años aparecieron los primeros microorganismos, antecesores de las cianobacterias actuales, capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica. Este proceso tuvo una gran importancia en el desarrollo posterior de la vida y fue un elemento determinante en la evolución de los seres vivos. Se produjo una explosión demográfica de las cianobacterias que permitió el paso en nuestro planeta de una atmósfera reductora rica en CO_2 a nuestra atmósfera actual rica en O_2 que favoreció la selección de los organismos capaces de respirar este compuesto. En la actualidad convivimos estrechamente con todos estos microorganismos, las bacterias, sin ser conscientes de la importancia que han tenido y tienen en la configuración de nuestro planeta.

2. Contenidos

2.1. Las bacterias, sus principales características

Las bacterias presentan una pared celular que les permite mantener su forma y les da rigidez. En función de la estructura de su pared, las bacterias se dividen en Gram+ y Gram-. La pared de las bacterias Gram+ está formada mayoritariamente por un tipo de molécula, denominada peptidoglicano, que representa hasta el 90% de la pared y le confiere una gran resistencia. La pared de las bacterias Gram-, por su parte, está compuesta por varias capas, incluyendo una fina capa de peptidoglicano y, por fuera de ésta, una membrana lipídica conocida como “membrana externa”. Por debajo de la pared bacteriana se sitúa la “membrana plasmática”, una membrana lipídica que rodea al citoplasma bacteriano. Las bacterias, aunque no contienen un núcleo separado físicamente del citoplasma como los eucariotas, sí concentran su material nuclear, es decir, los ácidos nucleicos, en lo que se denomina el nucleoide, que se encuentra incluido en el citoplasma. En el nucleoide tienen lugar los procesos de replicación del DNA y en el citoplasma el de la síntesis proteica.

La variedad de bacterias que encontramos en la naturaleza es muy amplia, de ahí que existan diferentes formas de clasificarlas. Así, se pueden clasificar en función del lugar que habiten (bacterias termófilas, halófilas,

acidófilas, etc.), en función de su forma (cocos, bacilos, espirilos, etc.) o en función de la fuente de nutrientes que tomen para formar moléculas. En función de este último criterio de clasificación, nos encontramos con bacterias autótrofas, que pueden asimilar el CO_2 atmosférico, o heterótrofas, que asimilan azúcares u otros compuestos orgánicos; bacterias nitrificantes, que viven a expensas de compuestos reducidos de nitrógeno como el NH_4^+ o el NO_2^- ; bacterias metanótrofas, que viven a expensas del metano, del que obtienen energía y al que utilizan como fuente única del carbono; o bacterias oxidantes del hierro y del azufre, que, como su nombre indica, obtienen la energía necesaria para la vida de la oxidación de compuestos reducidos de azufre o de hierro. Cabe destacar el grupo de las cianobacterias: bacterias capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica, utilizando el H_2O como donador de electrones y produciendo O_2 como desecho, mediante la que generan la energía y el poder reductor necesarios para asimilar los nutrientes requeridos para el crecimiento.

2.2. El mundo cianobacteriano

Las cianobacterias son un grupo de bacterias morfológicamente muy variadas que han tenido una gran importancia biológica a lo largo de la historia del planeta. Se consideran también los ancestros de los cloroplastos, que se originaron por la endosimbiosis entre una cianobacteria primitiva y una célula procariótica hace unos 2.000-1.500 millones de años. Las cianobacterias son, por tanto, los antecesores de los cloroplastos de todos los organismos fotosintéticos eucariotas, algas y plantas.

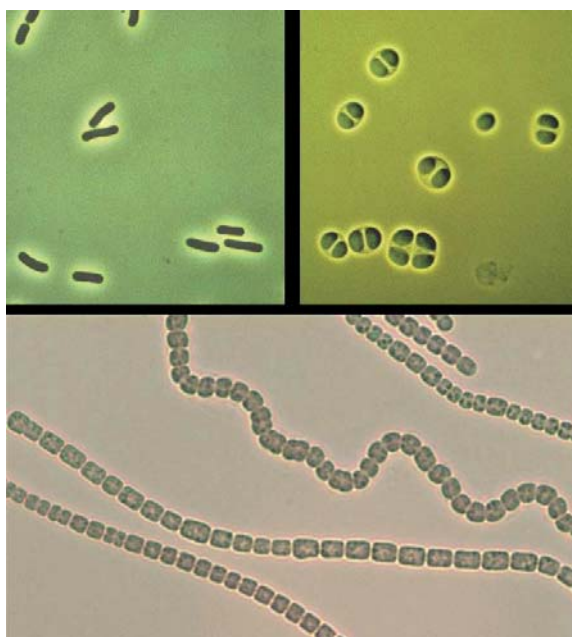


Figura 1. Micrografías al microscopio óptico de cianobacterias con distintas morfologías: unicelular (arriba a la izquierda), formando parejas o tétradas de células (arriba a la derecha) y filamentosa (abajo).

Las cianobacterias también son esenciales hoy en día para el mantenimiento de la vida en nuestro planeta y se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, ocupando prácticamente todos los nichos ecológicos. Así, las cianobacterias forman grandes masas verdes en la tierra y florecimientos en el mar, contribuyendo significativamente a la productividad primaria de nuestro planeta, fijando el CO_2 y participando, por tanto, en el mantenimiento del equilibrio de este compuesto en la atmósfera, tan importante en la prevención del calentamiento de la Tierra. Algunas cianobacterias son, también, capaces de fijar el nitrógeno atmosférico y transformarlo en otras formas de nitrógeno que pueden ser asimiladas por otros organismos, contribuyendo, por tanto, a la incorporación de nitrógeno en la biosfera. Debido a esta capacidad de fijación de nitrógeno se establecen, en algunas ocasiones, lazos de unión inseparables, en forma de simbiosis entre una cianobacteria, que aporta el nitrógeno, y otro organismo (alga, hongo o planta), que aporta protección frente a diferentes condiciones adversas.

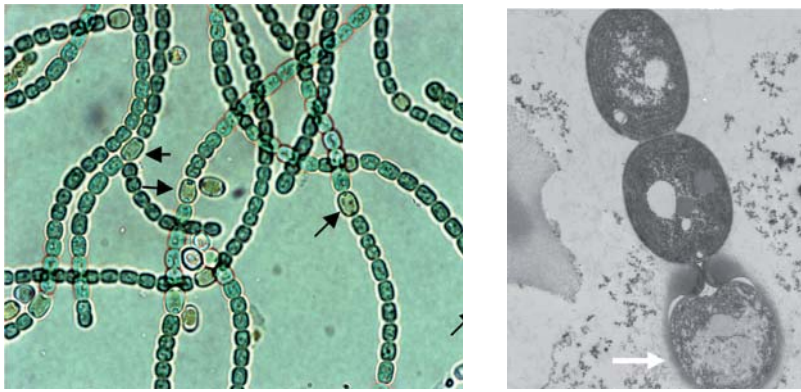


Figura 2. Micrografía de luz visible a 40 aumentos (izquierda) y al microscopio electrónico (derecha) de la cianobacteria *Anabaena sp.* PCC 7120. Se observan heterocistos en ambos casos (señalados con flechas).

Estructuralmente las cianobacterias responden al tipo de bacterias Gram $-$. Internamente cabe destacar la presencia de membranas tilacoidales, donde se lleva a cabo la fotosíntesis oxigénica, y de unos corpúsculos proteicos, llamados carboxisomas, donde tiene lugar la fijación del CO_2 . También, algunos grupos cianobacterianos presentan reservorios de carbono en forma de gránulos de glucógeno y, en algunas ocasiones, reservorios de nitrógeno en forma de gránulos de cianoficina, un polímero de los aminoácidos arginina y aspartato. Las cianobacterias se dividen en cinco grupos en función de diferentes características fundamentalmente morfológicas. Se encuentran cianobacterias unicelulares y filamentosas, con un solo tipo de células o con posibilidad de diferenciar tipos celulares especializados en la fijación del nitrógeno (los heterocistos), la resistencia a condiciones ambientales adversas (los acinetos) o la dispersión en la naturaleza (pequeños filamentos denominados hormogonios).

2.3. Una cianobacteria modelo, *Anabaena*

Existen determinadas cianobacterias que se utilizan como modelo de estudio por presentar diversas características favorables. Entre ellas, se encuentra la estirpe *Anabaena sp.* PCC 7120 (el número 7120 de la colección de cultivos tipo del Instituto Pasteur de París), que representa a las cianobacterias formadoras de heterocistos, que pueden considerarse multicelulares. En esta cianobacteria las células se disponen una al lado de otra, a modo de un collar, formando filamentos largos. Como todas las cianobacterias, *Anabaena sp.* realiza la fotosíntesis oxigénica. Además, es capaz de fijar el nitrógeno atmosférico. Estos dos procesos son incompatibles debido a que la enzima que lleva a cabo la reducción del N_2 a NH_4^+ , la nitrogenasa, se inactiva por O_2 . Para poder compaginar ambos procesos, éstos se separan espacialmente de manera que la fotosíntesis oxigénica se lleva a cabo en las células vegetativas y la fijación del nitrógeno en los heterocistos, que se diferencian cuando la cianobacteria no encuentra otra fuente de nitrógeno distinta al nitrógeno atmosférico.

El heterocisto es una célula altamente especializada con una envoltura añadida de glucolípidos y polisacáridos que dificulta la penetración de O_2 al interior celular y ha perdido la capacidad de realizar la fotosíntesis oxigénica. Además, el heterocisto presenta enzimas respiratorias específicas que eliminan las moléculas de oxígeno residual que quedarán en el citoplasma. En cianobacterias como *Anabaena sp.* se encuentran, por tanto, dos tipos de células diferentes dentro de un mismo filamento: los heterocistos que fijan el nitrógeno y las células vegetativas que fijan el carbono. Debe existir, entonces, un intercambio de moléculas entre estas diferentes células del filamento. Los mecanismos por los cuales se establecen estos intercambios de “nutrientes” no se conocen, y su investigación representa un tema científico inédito. Nosotros hemos identificado una serie de proteínas que se localizan en el septo entre dos células vecinas de *Anabaena sp.* Estas proteínas son esenciales para mantener las células unidas en el filamento y parecen estar implicadas en la comunicación entre células vecinas.

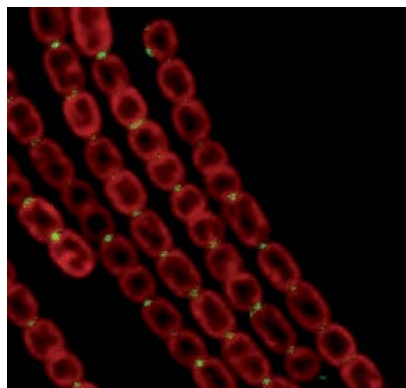


Figura 3. Micrografía al microscopio confocal de *Anabaena sp.* PCC 7120, donde la fluorescencia roja indica la clorofila y la fluorescencia verde la presencia de la proteína FraD en el septo.

3. Conclusiones

Lejos de ser unos seres simples, las bacterias encierran una gran complejidad que hace su estudio fascinante. Un ejemplo claro son las cianobacterias, bacterias inventoras de un proceso esencial para el desarrollo de la vida en la Tierra, como es la fotosíntesis oxigénica. Además, las cianobacterias del tipo representado por *Anabaena sp.* podrían haber sido de los primeros organismos en desarrollar procesos de diferenciación celular y relaciones intercelulares que han permitido su funcionamiento como un verdadero organismo pluricelular.

4. Bibliografía

- Flores, E., Herrero, A. (2010): "Compartmentalized function through cell differentiation in filamentous cyanobacteria". *Nat. Rev. Microbiol* 8(1): 39-50.
- Merino-Puerto, V.; Mariscal, V.; Conrad W. Mullineaux, Herrero, A.; Flores, E. (2010): "Fra proteins influencing filament integrity, diazotrophy and localization of septal protein SepJ in the heterocyst-forming cyanobacterium *Anabaena sp.*" *Mol Microbiol* 75(5): 1159-70.

5. Páginas webs de interés

www.cyanosite.bio.purdue.edu

<http://www.pasteur.fr/ip/easysite/go/03b-000012-00g/collection-of-cyanobacteria-pcc/index.html>

<http://www.ucmp.berkeley.edu/bacteria/cyanointro.html>

http://www.ibvf.csic.es/Cianobac_Diferenciacion/Diferenciacion_Cianobac.htm

INSTITUTO DE CIENCIA DE
MATERIALES DE SEVILLA

Resumen:

En esta presentación se describen algunas de las aplicaciones tecnológicas actuales más relevantes de las películas sólidas delgadas, tanto para la mejora de aquellos otros materiales a los que recubren, como en la fabricación de dispositivos laminares de estado sólido.

Dentro del primer grupo de aplicaciones se describirán algunas de las películas empleadas en el control de la transmisión o de la reflexión de luz (en lentes, filtros, espejos, vidrios planos, etc.), de la biocompatibilidad (en implantes medicoquirúrgicos, etc.), de la afinidad química (en sensores, tejidos, elementos ópticos, etc.) o de la apariencia estética (brillo, color, iridiscencia, etc.) de aquellos elementos o piezas a los que recubren.

Dentro del segundo conjunto se describirá el empleo de sistemas multilaminares en la fabricación de dispositivos ópticos (filtros y espejos dicróicos, divisores de haz, discos de almacenamiento de datos, etc.), y dispositivos electrónicos (transistores, pantallas de comunicación, celdas fotovoltaicas, etc.).

1. Introducción

La inmensa mayoría de los dispositivos tecnológicos avanzados fabricados en la actualidad por cualquier rama de la industria (electrónica, mecánica, óptica, energía, transporte, deporte, etc.), requieren en algún momento de su construcción de la síntesis y el apilamiento sucesivo de pequeñas rodajas de materiales sólidos de espesores inferiores a una micra (10^{-3} mm), que denominamos películas o capas finas. Por su extrema delgadez y fragilidad estas películas no se suelen emplear aisladas, sino que se hallan soportadas sobre otros sólidos de mayor grosor y distintas propiedades físicas o químicas que denominamos sustratos (ver Figura 1a).

En términos generales las películas delgadas se emplean para dos finalidades: la más simple, optimizar alguna o varias de las propiedades de los sustratos a los que recubren o incluso dotarlos de propiedades nuevas. En este caso, nos solemos referir a las películas delgadas con el término “recubrimiento”. La segunda aplicación general es la fabricación de dispositivos con propiedades fisicoquímicas específicas y singulares, que guardan muy poca o ninguna relación con las propiedades iniciales del sustrato, que se comporta aquí como un mero soporte físico. Para este segundo tipo de aplicación no se emplean capas sencillas, sino sistemas multilaminares estratificados. (ver Figura 1b).

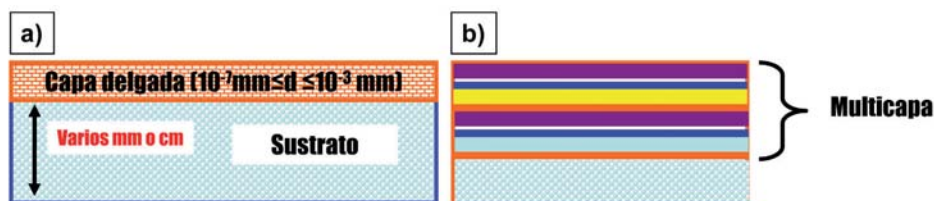


Figura 1. Esquemas de una capa delgada recubriendo un sustrato (a), y de un sistema multicapa estratificado (b), con indicación de los grosores relativos de películas y sustrato.

Para que una película delgada cumpla con su cometido, ya sea empleada como recubrimiento o formando parte de una multicapa estratificada, es necesario que la misma tenga perfectamente definidas, entre otras, las siguientes características:

- a) Su grosor, que podrá variar desde una sola capa de átomos (10^{-7} mm) hasta varias micras (10^{-3} mm).
- b) Su composición química (con estequiometrías que pueden ser muy complejas y control de impurezas que

en los casos más exigentes pueden llegar a ser de una parte en varios millones).

c) Su estructura cristalina (amorfa, mono o policristalina, polimorfismo) y microestructura cristalina (tamaño cristalito, orientación, textura ...), etc..

Estas características composicionales y estructurales determinarán las propiedades de cada capa y por ende del conjunto, como por ejemplo:

i) Su naturaleza eléctrica (conductor, aislante, semiconductor, ...).

ii) Su comportamiento frente a la luz (transparente, reflectante, absorbente...).

iii) Su comportamiento mecánico (duro, blando, frágil, tenaz,...).

iv) Su comportamiento magnético (ferromagnético, antiferromagnético, paramagnético, ...).

v) Su comportamiento químico (reactivo, inerte, catalítico, sensor, biocompatible, biocida,...), etc.

Como consecuencia de la delgadez de las películas y de las exigencias anteriores, se precisan para su fabricación reactores y técnicas especiales que se hallan en continua evolución y progreso dado el interés de la industria por desarrollar dispositivos mejorados, aumentar su producción y abaratar su precio. Igualmente, se necesitan instrumentos y técnicas de caracterización muy sofisticados para lograr la determinación precisa de las propiedades requeridas.

2. Contenidos

2.1. Campos de aplicación de la tecnología de películas delgadas

Entre los campos tecnológicos donde se hace un uso extensivo de películas delgadas podemos destacar por su relevancia los siguientes:

- En la fabricación de máquinas, motores y herramientas de corte, para aumentar su dureza y su resistencia a la abrasión, evitar la corrosión y el deterioro térmico de piezas sujetas a desgaste (brocas, fresas, rodamientos, engranajes, sierras, pistones, turbinas, etc.).

- En la fabricación de componentes ópticos (lentes, espejos, filtros, vidrios planos, etc.), para mejorar las propiedades de reflexión y transmisión de luz de los mismos y evitar su corrosión atmosférica.

- En la fabricación de dispositivos electrónicos de estado sólido (transistores, memorias, condensadores, resistores, superconductores, diodos, fotodiodos,...), que constituyen la base de la electrónica.

- En la construcción de superficies bidimensionales, para el almacenamiento magnético de datos y sensores de campo magnético.

- En la fabricación de celdas fotovoltaicas y colectores térmicos solares, para el aprovechamiento de la energía solar.

- En la fabricación de pantallas (monitores), para la comunicación visual entre humanos y entre estos y sus máquinas.

- En la fabricación de sensores (químicos, luminosos, acústicos,...), para modificar su sensibilidad, selectividad y velocidad de respuesta.

- Para la modificación de la apariencia estética (color, brillo) de elementos ornamentales y de consumo, para hacerlos mas atractivos.

- Para regular la capacidad de mojado por líquidos (hidrofilicidad o hidrofobicidad), en la obtención de superficies autolimpiables (fachadas, vidrios de ventana, parabrisas, espejos...) y tejidos.

- Para regular la adhesión celular (biocompatibilidad), en la superficie de prótesis quirúrgicas (dentales, de cadera, de rodilla, cardíacas, abdominales, ...).

En nuestro Instituto se viene trabajando desde hace casi dos décadas tanto en la fabricación como en la caracterización de películas delgadas con aplicaciones muy diversas. En la actualidad, dos grupos de investigación se ocupan casi en exclusiva a esta temática. El grupo al que pertenezco, denominado "Superficies, Intercaras y Capas Finas", se ha concentrado fundamentalmente en la fabricación y caracterización de películas transparentes de óxidos (TiO_2 , SiO_2 , SnO_2 , In_2O_3 , CeO_2 , ZnO , ZrO_2 ,...) para su empleo en aplicaciones ópticas, eléctricas y químicas. Para ello, se ha dotado de reactores de síntesis, de diseño y construcción propios que emplean las principales técnicas de síntesis en fase vapor conocidas actualmente, tanto de naturaleza física (evaporación por bombardeo electrónico, evaporación por desbastado catódico), como de origen químico

(CVD térmica, CVD inducida por iones y diversas CVD inducidas por plasma) (ver Figura 2). Simultáneamente, los miembros del grupo han adquirido el instrumental y la formación necesarios para llevar a cabo el análisis de las principales propiedades demandadas a cada película particular (ver Figura 3). A continuación se describen algunos de los resultados más sobresalientes obtenidos recientemente.

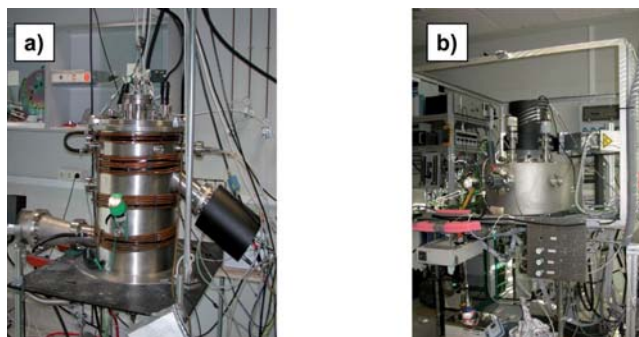


Figura 2. Fotografías de dos reactores dedicados a la síntesis de películas delgadas: a) de tipo PVD y evaporación por bombardeo electrónico, y b) de tipo CVD asistido por plasma. En el primer caso, la película sólida se forma por condensación de vapores, en el segundo, por reacción entre reactivos gaseosos, parte de los cuales han sido transformados en un plasma (mezcla compleja en equilibrio eléctrico de moléculas y átomos electrónicamente excitados, moléculas y átomos ionizados, y electrones).

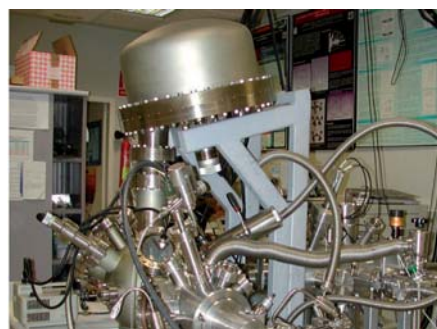


Figura 3. Fotografía de espectrómetro de electrones de rayos X (XPS), dedicado al análisis de la composición química y de la estructura electrónica de películas delgadas. El instrumento cuenta con dos reactores anexos para el tratamiento y la fabricación in situ de sustratos y películas delgadas.

2.2. Películas densas conductoras iónicas, para su empleo en celdas de combustible

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos de estado sólido que permiten obtener electricidad directamente a partir de una reacción redox, donde los reactivos químicos, usualmente O_2 y un combustible (H_2 , metanol, ...), se suministran separadamente y de forma continua a los compartimentos anódico y catódico de la celda. A diferencia de las baterías, las celdas de fuel no se agotan, pues los electrodos no modifican su composición con el transcurso del tiempo, sino que se comportan como catalizadores de la reacción de oxidación. Un elemento clave en la celda de combustible es el conductor iónico sólido, material que separa los compartimentos anódico y catódico e impide la mezcla directa de los reactivos, pero que permite la difusión de iones oxígeno a su través. Un modo de mejorar la eficiencia de una celda de combustible es fabricar el conductor iónico en forma de película delgada muy densa, que impida la difusión de gases a su través. En la figura 4 se presenta una película de CeO_2 preparada para tal finalidad, que ha sido crecida buscando maximizar simultáneamente su conductividad iónica y su densidad.

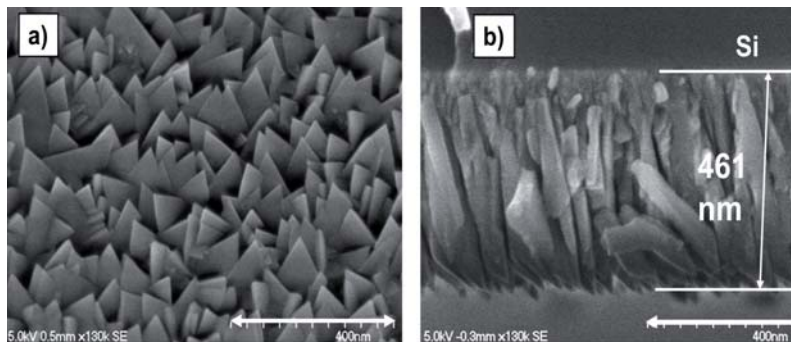


Figura 4. Microfotografías obtenidas en el microscopio electrónico de barrido (SEM) de una película densa de CeO_2 depositada sobre Si, obtenida por condensación de vapores de CeO_2 en presencia de O_2 . Se muestran la misión plana (a) y la transversal (b), en las que se observan cristalitas prismáticos apilados paralelamente y terminados en base piramidal.

2.3. Películas altamente porosas y transparentes a la luz visible, para su uso en óptica

La porosidad y la transparencia a la luz visible suelen ser dos propiedades mutuamente incompatibles en un material sólido: la presencia de poros en un material intrínsecamente transparente suele conferir al mismo una apariencia lechosa y hacerlo translúcido o completamente opaco. La razón de ello es que la luz es dispersada en los defectos y oquedades, impidiendo su transmisión. En nuestro grupo, hemos logrado preparar películas delgadas donde los fenómenos de dispersión quedan circunscritos exclusivamente a la zona ultravioleta del espectro y que son, por ello, transparentes en la zona visible e infrarroja. Este resultado se consigue ajustando convenientemente el tamaño, orientación y separación mutua de los cristalitas que componen la película. En la figura 5 se presentan resultados de una película de SiO_2 altamente porosa y transparente.

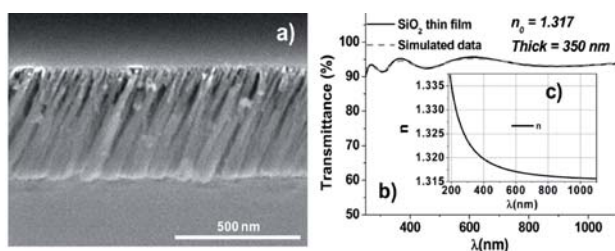


Figura 5. a) Microfotografía de microscopio electrónico de barrido, en sección transversal, de una película de SiO_2 preparada para hacerla altamente porosa mediante la técnica GLAD-PVD, y b) sus espectros de transmisión, experimental y simulado, en el rango visible-IR, donde se observa su alta transparencia y bajo índice de refracción. En el inserto se representa la evolución de su índice de refracción con la longitud de onda.

Una aplicación novedosa de las películas porosas transparentes es la infiltración en sus poros de un segundo material que las dote de una propiedad añadida. En nuestro grupo, hemos llenado parcialmente estos poros con diversas moléculas orgánicas coloreadas y con nano partículas de metales y semiconductores, con el fin de explotar sus propiedades ópticas y sensoras.

3. Bibliografía

- Albella J.M. (ed.) (2003): *Láminas delgadas y recubrimientos. Preparación, propiedades y aplicaciones*. Biblioteca de Ciencias 11. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Gissler, W., y Jehn, H.A. (eds.) (1992): *Advanced techniques for Surface Engineering*. Kluwer Academic Publishers.
- Vossen, John L., y Kern W. (eds.) (1991): *Thin Film Processes II*. Academic Press, 1991.
- Schnegraf, Klaus K. (1988): "Handbook of Thin-Film Deposition Processes and Techniques". *Principles, Methods, Equipment and Applications*. Noyes Publications, Mill Roael.
- Bach, H., y Krause, D.: *Thin Films on Glass*. Berlin. 1997.
- Mansilla, C., Holgado, J.P., Espinós, J.P., González-Elipe, A.R., y Yubero, F. (2007): "Microstructure and transport properties of ceria and samaria doped ceria thin films prepared by EBE-IBAD". *Surface and Coatings Technology* 202 1256-1261.
- Sánchez-Valencia, J.R., Blaszczyk-Lezak, I., Espinós, J.P., Hamad, S., González-Elipe, A.R., y Barranco A. (2009): "Incorporation and thermal evolution of Rhodamine 6G Dye Molecules adsorbed in Porous Columnar Optical SiO_2 thin Films". *Langmuir* 25(16) 9140-9148.

Palabras claves:

Patrimonio histórico-artístico, estratigrafía, técnicas no destructivas, equipo portátil de DRX-FRX.

Resumen:

El estudio científico del patrimonio histórico y cultural para un mejor conocimiento de la composición de todo tipo de obras de arte y para la posterior implementación de medidas que ayuden a su restauración y conservación, es una de las aplicaciones más directas que la investigación científica tiene en la sociedad actual. Gracias al desarrollo tecnológico logrado en los últimos años, se han puesto a punto nuevos equipos de análisis que permiten el estudio no destructivo de las obras.

1. Introducción

Hasta mediados del siglo XX, los datos obtenidos del estudio de obras de arte se basaban en observaciones especulativas, puramente contemplativas, tomando como referencia aspectos y criterios artísticos, históricos, estéticos y estilísticos, en la mayoría de los casos cotejados y apoyados con tratados técnicos y artísticos coetáneos o anteriores a la obra en cuestión o aprovechando la existencia de contratos de realización de la propia obra. El reciente desarrollo científico y tecnológico ha favorecido todos estos estudios debido a la garantía y fiabilidad de los resultados que se obtienen mediante los nuevos equipos de análisis. La física abre hoy en día la posibilidad de aplicar múltiples técnicas de análisis al estudio de las obras de arte del pasado y a la comprensión de sus propiedades ópticas, mecánicas, etc. La química permite descubrir los antiguos procesos de elaboración de los materiales para la fabricación de los objetos así como los mecanismos de alteración a lo largo de los siglos. Adicionalmente nos ofrece los remedios para la mejor conservación de las obras de arte para las generaciones venideras.

2. Contenidos

2.1. Técnicas globales de análisis

La primera etapa en el estudio de las obras de arte es la observación visual. Más allá de la luz visible, el uso de rayos X o de radiación infrarroja y ultravioleta permite descubrir otras características de las obras. La imagen obtenida mediante una radiografía de rayos X se corresponde con una superposición de imágenes, donde las transparencias y opacidades dependen de las densidades y espesores de los materiales empleados en su ejecución, así como de la suma de todas las intervenciones posteriores, y de “arrepentimientos” del autor de la obra. Además, esta técnica revela cómo el artista ha fabricado el objeto (esqueleto metálico en una estatua, clavos para asegurar el lienzo, etc.). La mayor aplicación de la reflectografía de infrarrojos es la de poder contemplar y estudiar el dibujo subyacente y/o las inscripciones de los cuadros, es decir el proyecto de la obra sobre la capa de preparación. Por último, la iluminación ultravioleta nos permite una primera determinación del estado de conservación de la obra, revelando directamente operaciones antiguas de restauración, repintes, añadidos y barnices.

2.2. Preparación de estratigrafías y técnicas para el estudio de las mismas

Trabajar sobre obras de arte implica severas restricciones experimentales. Al ser objetos únicos, normalmente tienen que hacerse análisis no destructivos, lo que limita las técnicas disponibles, salvo en casos donde el estado de las obras abre la posibilidad de tomar muestras minúsculas (del orden de miligramos).

A partir de la muestra extraída de la obra de arte, se prepara una estratigrafía, que es un corte transversal de la muestra, conteniendo todas las capas constitutivas de la obra en cuestión, en el caso de pinturas sobre lienzo, desde el barniz hasta el soporte en tela, pasando por las capas de preparación, imprimación y de color. Posteriormente, las preparaciones estratigráficas se estudian mediante un amplio abanico de técnicas: microscopía óptica (MO), espectroscopías de infrarrojos (FTIR) –basada en la interacción de radiación infrarroja con la materia y los cambios vibracionales en las moléculas que la forman– y Raman –basada en la interacción inelástica de la materia con la luz incidente–, y microscopía electrónica de barrido (MEB) acoplada con analizador elemental por energías dispersivas de rayos X (EDX), que permite hacer un análisis químico de los elementos que forman la muestra. La microscopía electrónica proporciona imágenes, como la microscopía óptica (MO), pero emplea haces de electrones en lugar de un haz de luz visible.

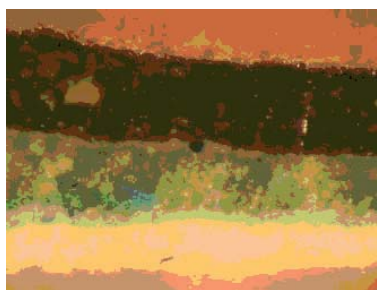


Figura 1. Microfotografía de una estratigrafía correspondiente a las pinturas murales del Camarín de la Virgen de las Aguas en la Iglesia de El Salvador.

Mediante la microscopía óptica se obtiene información acerca de la distribución de estratos, la morfología de los pigmentos y su color. El gran beneficio de los análisis mediante espectroscopía IR es su capacidad de detectar heterogeneidad en una mezcla, caso frecuente en las muestras pertenecientes a obras de arte, en la cual los pigmentos coloreados suelen ser compuestos inorgánicos y los aglutinantes, aceites, colas, gomas o resinas, suelen ser compuestos orgánicos. La mayoría de los pigmentos tienen un espectro Raman característico, que suele servir como huella dactilar de los mismos, permitiendo su identificación. La microscopía electrónica de barrido se emplea para el estudio morfológico de las muestras, de forma complementaria a la microscopía óptica. Combinado con el análisis mediante energía dispersiva de rayos X, se pueden realizar análisis químicos elementales de las partículas componentes de los diferentes estratos.

Otra técnica de estudio muy empleada es la difracción de rayos X (DRX), que sirve para identificar las fases cristalinas presentes, es decir, las que presentan orden a larga distancia, que es también una técnica que proporciona huellas dactilares. La limitación que presenta esta técnica para el estudio es que requiere de una cantidad “considerable” de muestra (normalmente superior a unos miligramos) lo que es imposible de obtener en la mayoría de los casos. Además, la muestra debe ser normalmente molida antes de realizar las experiencias.

2.3. Métodos no destructivos

Hasta hace unos años, la toma de muestras y el análisis mediante técnicas de análisis “destructivas” (aquellas que requieren la toma de muestras) era el procedimiento más habitual para el estudio de los materiales que formaban parte de las obras. En los últimos años se están empleando otro tipo de técnicas o variantes de las anteriores, que no precisan de toma de muestras del objeto de estudio: son las técnicas que denominamos como “no destructivas”. Además, se han desarrollado equipos que permiten el análisis *in situ* de los objetos, evitando así los riesgos y costos que suponen su traslado a laboratorios o a grandes instalaciones (aceleradores de partículas, sincrotrones). Estos métodos portátiles facilitan el estudio de objetos de gran valor localizados en museos, archivos, talleres de restauración, etc., así como el análisis de los materiales presentes en edificios históricos (pinturas murales, yeserías policromadas, estatuas), cuevas prehistóricas, etc.

El laboratorio del Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (C2RMF), situado en el Museo del Louvre de París, fue dotado en 1987 de un acelerador de iones (AGLAE) dedicado exclusivamente al estudio de obras del patrimonio. La máquina permite realizar análisis sin toma de muestras, directamente sobre obras de cualquier tamaño hasta un par de metros. La mayoría de las experiencias con AGLAE emplean la

técnica PIXE, que emplea protones como haz incidente, con espectroscopía de dispersión de energías (EDX), en la cual se detectan los rayos X emitidos por la materia, similar a la combinación con la microscopía electrónica de barrido, pero con mayor sensibilidad para la determinación de las concentraciones de los elementos. Asimismo, en los laboratorios del C2RMF en el Louvre se ha diseñado un equipo instrumental portátil que combina las técnicas de difracción y fluorescencia de rayos X (FRX), que proporciona un análisis químico elemental. La importancia del desarrollo de este equipo radica en el hecho de que la información química elemental es complementada con aquella sobre las diferentes fases, composición química y estructura cristalina, proporcionada por la difracción. También se obtiene una descripción de su microestructura (tamaño de grano, textura, imperfecciones, etc.). La fuente de rayos X es un ánodo de cobre (40 kV, 700 μ A), que incorpora una semi-lente policapilar que produce un haz casi paralelo, dando una zona de análisis en el objeto a analizar del orden de 3 mm de diámetro. La señal de DRX se detecta con placas de imágenes en tiempos de exposición del orden de 15 minutos. Este equipo de FRX-DRX se ha trasladado a diferentes museos e instituciones culturales de Francia, España, Italia y Holanda para estudiar pinturas sobre lienzo, esculturas, pinturas murales, manuscritos y obras en cerámica o metal.



Figura 2. Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire. Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France. Laboratorios del Museo del Louvre.

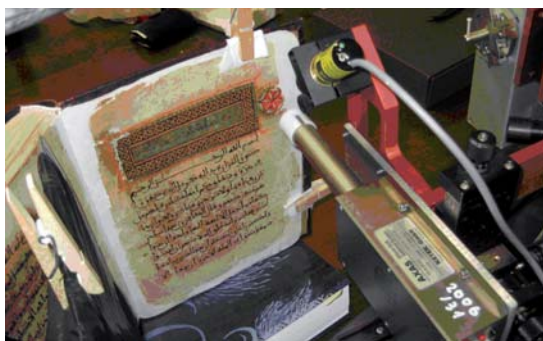


Figura 3. Equipo portátil de DRX y FRX desarrollado en el C2RMF. Estudio de un Corán del siglo XV de forma no destructiva e in situ.

2.4. Grupo de investigación del ICMS

En el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla (ICMS) un grupo de investigadores llevan más de cuarenta años estudiando el patrimonio histórico-artístico de Andalucía y de toda España. La labor científica de estos profesionales ha sido en gran parte posible gracias a la concesión de diferentes proyectos europeos y nacionales, a los convenios y contratos suscritos con Instituciones como la Dirección General de Bienes Culturales de la Junta de Andalucía, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Patronato del Real Alcázar de Sevilla, las Facultades de Bellas Artes de Sevilla y Granada, la Catedral de Sevilla, la Iglesia Colegial del Divino Salvador y las colaboraciones con el Museo de Bellas Artes de Sevilla.



Figura 4. Tubo de órgano estudiado de forma no destructiva mediante difracción de rayos X en el ICMS. Dispositivo experimental.

La amplia variabilidad de materiales estudiados ha obligado a poner a punto algunas de las técnicas a nuestro alcance, adaptándolas al estudio del patrimonio cultural. Implementaciones como el uso de los llamados espejos Göbel en difractómetros convencionales ha permitido el estudio “no destructivo” de pequeñas piezas con

superficies irregulares o el empleo de técnicas espectroscópicas para el estudio de las fibras componentes de documentos históricos y lienzos. Por otra parte, nuevas técnicas como aquellas que emplean radiación sincrotrón, aceleradores de partículas o equipos portátiles se han aplicado para estudios más específicos.

Los muchos años dedicados a la investigación del Patrimonio han permitido el estudio de una amplia variedad de obras de arte, tanto en tipología como en número. Entre ellas podemos destacar las siguientes:

- Las figuras en cerámica de los Pórticos del Nacimiento y Bautismo y de la Puerta del Perdón de la Catedral de Sevilla.
- La puerta de bronce de la Puerta del Perdón de la Mezquita-Catedral de Córdoba.
- Esculturas de Martínez Montañés, como San Francisco de Asís, San Pascual Bailón (Iglesia de Medina Sidonia) o la popular “Cieguecita” expuesta al culto en la Catedral de Sevilla.
- Lienzos de Zurbarán o Murillo que lucen en el Museo de Bellas Artes de Sevilla.
- El Retablo Mayor de la Catedral de Sevilla y el de la Iglesia Parroquial de Huércal-Overa.
- Pinturas murales, como las del Monasterio de la Rábida, las del Patio de las Doncellas y de Banderas en los Reales Alcázares de Sevilla o las de la Iglesia Colegial del Divino Salvador de Sevilla.
- Espejos del siglo XVII de la Iglesia de Santo Domingo en Granada y la Iglesia de Santa Ana (Sevilla).
- Estudios arqueológicos en la comarca de Tierra de Barros (Badajoz) y en la Casa del Mítreo (Mérida).
- Manuscritos árabes de la Abadía del Sacromonte y la Real Chancillería (Granada).
- Órganos barrocos históricos como los de Lerma (Burgos), Baeza, Castaño del Robledo o Écija.

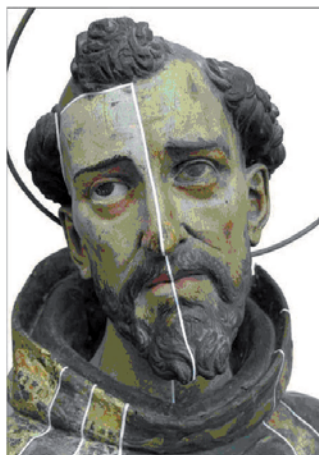


Figura 5. Escultura de San Francisco de Asís (Martínez Montañés). Proceso de restauración. Iglesia Parroquial de Medina Sidonia.

3. Conclusiones

La física y la química se postulan en la actualidad como disciplinas claves para el estudio en profundidad de las obras que componen nuestro Patrimonio Histórico-Artístico. Permiten asegurar la autenticidad de las obras, determinar los orígenes de las materias primas, las técnicas de fabricación y elaboración de objetos, además de ayudar en los procesos de restauración y conservación. En la actualidad se están desarrollando técnicas de análisis que permiten el estudio no destructivo e in situ de las obras.

4. Agradecimientos

El autor desea expresar sus agradecimientos a José Luis Pérez-Rodríguez, Ángel Justo, Jacques Castaing, M^a Carmen Jiménez, Belinda Sigüenza, M^a Luisa Franquelo, Isabel Garófano y Cristina Gallardo, así como la colaboración de las instituciones mencionadas en el texto.

5. Bibliografía

- Castaing, J. (2010). *La Física y la Química en el Arte*. Academia Sevillana de Ciencias.
- Durán, A. (2006): Tesis Doctoral “Metodología de estudio y análisis de diferentes tipos de obras de arte pertenecientes a la escuela sevillana de los siglos XVII y XVIII”. Universidad de Sevilla.

6. Páginas webs de interés:

www.icmse.csic.es

www.c2rmf.fr

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS

El desafío de transportar medicamentos a células, tejidos y órganos: el potencial terapéutico del transporte selectivo de fármacos

JUAN MANUEL BENITO

Palabras claves:

Transporte específico de fármacos, nanotecnología, dianas terapéuticas, síntesis química, reconocimiento selectivo.

Resumen:

El desarrollo de nuevas moléculas capaces de interferir en los procesos patológicos que originan las enfermedades que nos afectan es frenético en laboratorios de todo el mundo. Pero, ¿por qué no se convierten esas moléculas en los medicamentos que la sociedad demanda? Una de las razones es la dificultad para conducir las seguras y eficientemente al lugar del organismo en que deben actuar. El desarrollo de sistemas inteligentes capaces de transportar estos fármacos al foco de la enfermedad es un reto que hoy día también se dirige en el campo de la Química.

1. Introducción

Una de las características de la sociedad del bienestar en la que vivimos es la continua demanda de más y mejores tratamientos frente a las enfermedades que la acechan, a lo cual la Ciencia, y dentro de ella la Química, dedica buena parte de sus esfuerzos. Fruto de ello ha sido la identificación de moléculas naturales y el desarrollo de muchas otras artificiales (literalmente cientos, si no miles) capaces de interferir en procesos patológicos para bloquearlos, anular sus efectos o corregir las causas, incluso para enfermedades que hoy día no tienen cura. Pero, ¿por qué no se convierten esas moléculas en los nuevos agentes terapéuticos que demanda la sociedad? Pues bien, asegurar que esa molécula activa frente a una patología es capaz de llegar al lugar del organismo en que debe realizar su acción, sin que en su camino pierda eficacia o cause efectos indeseados, es un reto ciertamente difícil. Y, más aún, en humanos. En este sentido, en los últimos años se ha reconocido el potencial terapéutico que puede tener el desarrollo de “vehículos moleculares”: sistemas inteligentes capaces de transportar estos agentes terapéuticos, sorteando las diferentes barreras fisiológicas que se encuentren en el organismo, hasta el foco de la enfermedad.

Se trata aquí de trazar un perfil didáctico sobre el papel que la Química, en estrecha colaboración con la Medicina, Bioquímica, Farmacia o Nanociencias, está desarrollando, utilizando algunos ejemplos seleccionados que ilustren desde la concepción de nuevos sistemas de transporte de fármacos hasta los que están cerca de ser una realidad.

2. Contenidos

2.1. Ehrlich y la quimera de la “bala mágica”

El descubrimiento de nuevos agentes terapéuticos ha estado de un modo u otro inspirado durante décadas por el concepto de la “bala mágica” propuesto por el científico alemán Paul Ehrlich a principios del siglo XX. En base a sus experimentos, Ehrlich pensó que debía ser posible encontrar moléculas que fuesen capaces de reaccionar selectivamente con un solo tipo de células sin afectar al resto de un organismo. Así, una molécula que reconociese células patógenas podría ser administrada a pacientes infectados para que actuase como una “bala mágica” selectivamente dirigida a acabar con el foco de la enfermedad. Y ciertamente logró demostrar su hipótesis. Su trabajo exhaustivo y metódico le llevó a descubrir una molécula que era capaz de curar, de una sola dosis, la sífilis, una enfermedad asociada a un fuerte estigma social en la época.

Los métodos usados por Ehrlich han evolucionado mucho, pero prevalece la misma filosofía: ante una patología es necesario primero identificar una “diana terapéutica”, es decir, un objetivo que sea peculiar y distintivo del resto de las células que componen el organismo, y después, desarrollar un agente que sea capaz de reconocer y actuar selectivamente frente a esta diana. Uno de los ejemplos actuales que mejor ilustran el potencial de la Química en esta estrategia es el descubrimiento de Oseltamivir®, el principio activo del fármaco mas usado en la actualidad frente al virus de la gripe (Tamiflu®). El contagio de la gripe depende de una proteína, una neuraminidasa. Intuyendo que su inhibición podría detener el progreso de la enfermedad, se diseñaron cientos de moléculas y entre ellas se descubrió una que no sólo era capaz de bloquear selectivamente la neuraminidasa vírica sin afectar al funcionamiento del resto de proteínas humanas, sino que además podía hacerlo in vivo. El pasado año las ventas de este medicamento alcanzaron los ¡2300 millones de euros!

Sin embargo, este éxito está lejos de ser la regla. Aunque la Química ha desarrollado poderosas herramientas para diseñar moléculas adaptadas a una gran variedad de dianas terapéuticas, la realidad, que es tozuda, se empeña en demostrarnos que ésta es solo una parte del reto. Con contadas excepciones, la mayoría de las moléculas nunca llegarán al mercado por su falta de estabilidad o solubilidad en medios biológicos, por producir efectos indeseados en otras partes del organismo o simplemente por no ser capaces de atravesar las numerosas barreras del sistema inmunitario de los organismos complejos, como el ser humano. Es difícil reunir en una sola molécula tantas virtudes. Sin embargo, hay soluciones en camino...

2.2. El potencial terapéutico de los transportadores de fármacos

El potencial de la Química no se limita a sintetizar moléculas frente a una diana terapéutica. El advenimiento de la Nanotecnología y la integración de la Química a otras disciplinas (Farmacia, Bioquímica, Medicina,...) han servido de impulso al desarrollo de multitud de sistemas capaces de transportar fármacos, ayudándoles a traspasar membranas, protegiéndoles de la degradación o evitando su acción fuera del momento y el lugar adecuados. El potencial terapéutico de estos sistemas de transporte específico se manifiesta en el hecho de que moléculas que antes hubieran sido descartadas porque, por si mismas, no cumplían con todos los requisitos, están siendo ahora evaluadas en formulaciones con estos sistemas de transporte.



Figura 1

2.3. La concepción de nuevos sistemas de transporte específico de fármacos

Como en todas las áreas emergentes, las aproximaciones que se usan para diseñar nuevos sistemas de transporte específico de fármacos son variopintas. La única limitación es la imaginación. Desde el punto de vista de la Química, una estrategia puede ser la unión de moléculas que funcionen como “contenedores moleculares” a otras que muestren “afinidad” por nuestra diana (antena biológica), para sintetizar nuevas moléculas que combinen ambas propiedades (ver figura).

Este concepto aparentemente simple ha demostrado ser eficaz, pero no tiene como fin su aplicación real. Y es que para la industria farmacéutica es aún difícil asumir el esfuerzo de desarrollar un nuevo sistema de transporte específico para cada uno de los fármacos potencialmente útiles, salvo en casos excepcionales.

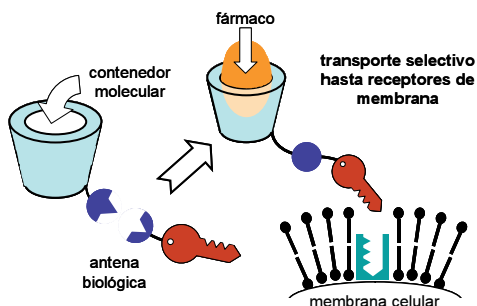


Figura 2

2.4. La aplicación de sistemas de transporte específico de fármacos

El cáncer y la terapia génica son dos de estas excepciones. Los fármacos usados son extremadamente tóxicos en el primer caso e inestables en el otro, excelentes oportunidades para el que el transporte específico de fármacos demuestre su potencial.

Y ciertamente lo está haciendo. Existen ya en el mercado formulaciones que combinan un transportador junto con fármacos anticancerosos, como la Doxorubicina, que limitan los efectos tóxicos del fármaco solo a las células cancerígenas que constituyen su objetivo. Y se avanza rápidamente en el desarrollo de agentes que sean capaces de encapsular genes (usados como fármacos en terapia génica) para protegerlos de la degradación y conducirlos selectivamente a través del torrente sanguíneo hasta sus dianas terapéuticas.

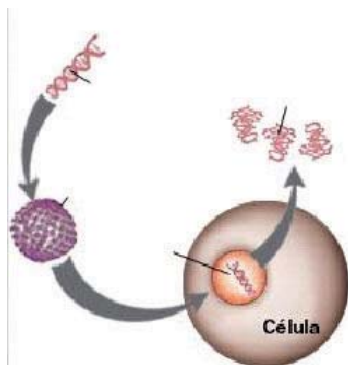


Figura 3

3. Conclusiones y perspectivas

Estos ejemplos ilustran el actual interés por el desarrollo de sistemas de transporte específico de fármacos y el papel protagonista que los químicos, con su capacidad de ejercer de arquitectos moleculares, pueden jugar en él. Sin embargo, pese a estos logros, el transporte específico de fármacos está aún en sus inicios. Y su avance solo será eficaz a través de una visión multidisciplinar, que integre a la Química con otras especialidades (Medicina, Farmacia, Bioquímica,...) y que despierte el interés de la industria.

4. Algunas webs de interés

- Sobre el concepto de la “bala mágica”: <http://www.seq.es/seq/0214-3429/19/1/Calvo-Historia.pdf>
- Sobre el fármaco anticanceroso Doxorubicina: <http://en.wikipedia.org/wiki/Doxorubicin>
- Sobre las bases de la terapia génica: <http://www.ugr.es/~eianez/Biotecnologia/tgdaniel.htm>

La Química Organometálica: qué es, para qué se utiliza y su contribución a la sociedad

SALVADOR CONEJERO

Resumen:

En esta charla se discutirán algunos aspectos de la Química Organometálica, una rama de la Química que estudia el comportamiento de las moléculas que forman un enlace entre un metal y un átomo de carbono. Este enlace químico tiene unas propiedades particulares que modifica enormemente la reactividad de las moléculas orgánicas enlazadas al metal, permitiendo así la construcción de nuevas moléculas difíciles de sintetizar por otros métodos más clásicos. El departamento de Química Organometálica y Catálisis Homogénea estudia distintos aspectos de esta área de la Química.

1. Introducción

Cuando uno piensa en Química de forma general tiende a interpretar esta rama de la Ciencia en términos de la Química Orgánica, o lo que es lo mismo, la Química de los compuestos que forma el Carbono, el Hidrógeno, el Nitrógeno y el Oxígeno fundamentalmente, o en términos de la Química Inorgánica, es decir, la del resto de los elementos de la tabla periódica. Sin embargo, hay una modalidad de la Química que se sitúa en la frontera de estas dos especialidades y que se conoce como la Química Organometálica. Esta es la disciplina que estudia las moléculas que forman un enlace entre un átomo metálico y, al menos, un átomo de carbono. El comienzo de la Química organometálica se remonta al año 1848 cuando Edward Frankland sintetizó la molécula conocida como dietil cinc, $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$. Durante casi un siglo esta modalidad de la Química permaneció en un aparente olvido (exceptuando los trabajos de Victor Grignard, Premio Nobel de Química en 1912), pero el descubrimiento en los años cincuenta de una molécula conocida como ferroceno (Figura 1) (un descubrimiento que valdría unos años más tarde el Premio Nobel de Química a sus descubridores) representaría el punto de partida del enorme desarrollo que este área de la química ha tenido desde entonces. Pero, ¿qué ha aportado a la sociedad algo tan aparentemente exótico? ¿Para qué se ha utilizado? ¿Qué se investiga en la actualidad y en qué medida contribuye o podría contribuir a nuestra vida cotidiana? Estas y otras preguntas son las que se pretenden responder a lo largo de esta presentación.

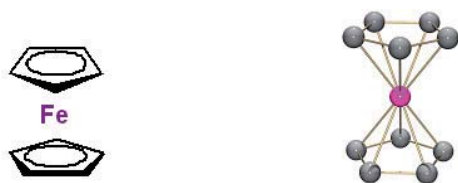


Figura 1. Representación gráfica del ferroceno (izquierda) y estructura de rayos X (derecha).

2. Contenidos

2.1. Una breve historia de la Química Organometálica

Son muchas y muy diversas las aplicaciones de la Química Organometálica, pero un buen comienzo en el que hallar su importancia lo encontramos en los diversos Premios Nobel concedidos a lo largo de los años a científicos cuyos descubrimientos e investigaciones están relacionados con esta especialidad. El primero recayó en los Químicos Karl Ziegler y Giulio Natta en el año 1963 por la síntesis de polímeros utilizando como catalizadores compuestos de titanio y aluminio. ¿Por qué fue tan importante este descubrimiento? La respuesta es tan sencilla como que no nos podríamos imaginar el mundo actual sin plásticos, que no son más que polímeros sintetizados en su mayoría de forma artificial. Los polímeros se producen a partir de moléculas pequeñas (monómeros) que se van uniendo una a una hasta conseguir una cadena muy larga o polímero (Figura 2). Esta unión no es fácil de conseguir, pero Ziegler y Natta diseñaron unos catalizadores que la facilitan.

De manera sencilla, un catalizador de polimerización es una sustancia que se puede imaginar como una máquina microscópica que va tomando del entorno moléculas muy pequeñas y las van uniendo una a una hasta formar un polímero.

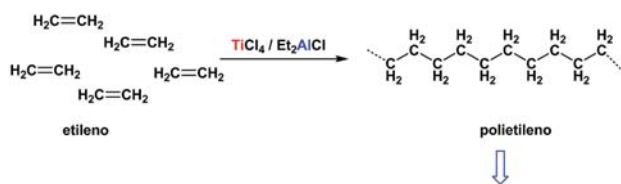


Figura 2

Unos años más tarde, en 1973, los químicos Geoffrey Wilkinson y Ernst O. Fischer serían galardonados con el Premio Nobel por el descubrimiento de la estructura del ferroceno (y de otras moléculas similares), una molécula que como se ha mencionado anteriormente marcaría el comienzo de una nueva era en la Química Organometálica. Los siguientes Premios Nobel en Química han sido concedidos mucho más recientemente, y en todos los casos están relacionados con procesos catalíticos en los que intervienen moléculas organometálicas. En el año 2001, K. Barry Sharpless, Ryoji Noyori y Williams S. Knowles lo recibieron por sus importantísimas contribuciones a la formación catalítica de moléculas quirales, como la L-dopamina (Figura 3). La quiralidad es una propiedad relacionada con la estructura de las moléculas y por tanto es especialmente importante para el desarrollo de la vida y de los fármacos que mejoran nuestra calidad de vida. Existen infinidad de moléculas que contienen exactamente el mismo número de átomos (C, O, N, H, etc) y en las que además estos tienen las mismas uniones (enlaces) entre ellos. Sin embargo, la geometría alrededor de los átomos es diferente del mismo modo que la mano izquierda y la mano derecha a pesar de ser iguales no son idénticas (no son superponibles, y por lo tanto un guante diseñado para la mano derecha no sirve para la izquierda). De este modo, a pesar de ser aparentemente iguales, estas moléculas no tienen las mismas propiedades, y en la mayor parte de los fármacos sólo una de estas moléculas “aparentemente idénticas” o quirales es la que puede curar o tratar una enfermedad, mientras que la otra (su isómero) puede ser inocua o, en el peor de los casos, tóxica. Por tanto cuando se “construye” una molécula hay que tener en cuenta qué geometría queremos que tenga al final, y por supuesto esto no es una tarea nada sencilla que, sin embargo, se ve facilitada gracias a los descubrimientos de los tres químicos que he citado anteriormente.

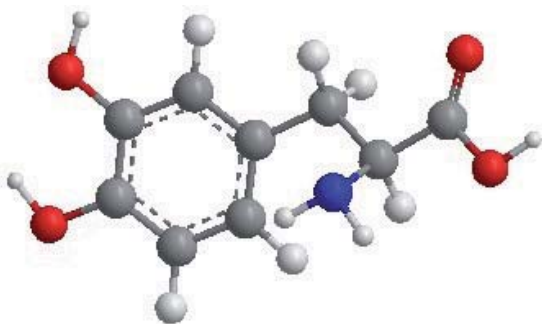


Figura 3. Representación de la L-dopa (fármaco para el tratamiento del Parkinson).

En el año 2005 Robert Grubbs, Richard Schrock e Yves Chauvin también recibieron el Premio Nobel en Química por el hallazgo y desarrollo de una reacción química catalizada por complejos de Rutenio y Volframio que hoy en día tiene aplicaciones tan importantes como obtención de fármacos (como el de la Figura 4, que se utiliza para el tratamiento de la hepatitis C), la síntesis de polímeros (plásticos) y nuevos materiales, perfumes y de un largo etcétera.

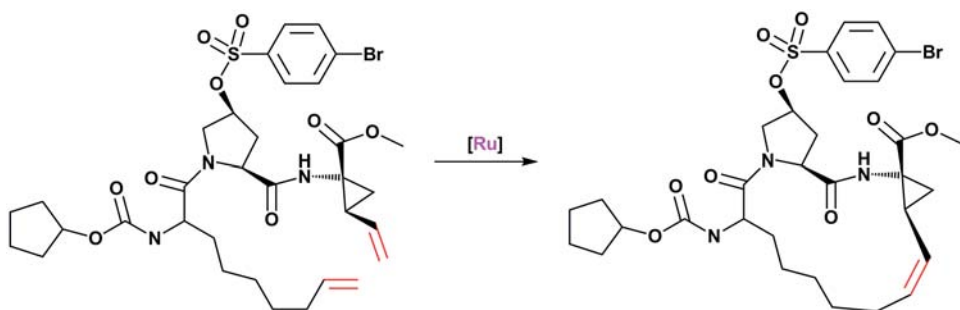


Figura 4. La molécula de la derecha se utiliza para el tratamiento de la hepatitis C. El compuesto de rutenio (simbolizado como [Ru], se encarga de unir los dos enlaces dobles marcados en rojo).

El pasado 6 de octubre de 2010 la Academia Nobel concedió una vez más el Premio a los Químicos Heck, Suzuki y Negishi por el desarrollo de unas reacciones catalizadas por el elemento químico paladio y que permite unir moléculas orgánicas a través de sus átomos de carbono, es decir, construye enlaces carbono-carbono. Estas reacciones, al igual que las anteriores, se utilizan en la preparación de fármacos anticancerígenos, pesticidas, chips electrónicos y otras aplicaciones tecnológicas.

2.1. "Arquitectos moleculares"

Pero además de estos campos de investigación, la Química Organometálica desarrolla otras actividades no menos importantes. Algunas de ellas están relacionadas con la obtención de nanopartículas de metales (Figura 5), es decir, pequeños fragmentos de metales como el platino, el oro o el paladio que tienen un tamaño del orden de los nanómetros (10-9 m) y que se utilizan en diversos aspectos de la vida cotidiana, aunque sus aplicaciones están aún por desarrollar. Otra aplicación la encuentra en la síntesis de nuevos materiales que puedan tener unas propiedades ópticas, magnéticas o electrónicas particulares, como por ejemplo los LEDs, en los que el metal permite controlar por ejemplo el color de la luz. Una interesante aplicación más reciente está en la utilización de las moléculas organometálicas como fármacos, en especial contra enfermedades como el cáncer, lo cual no es de extrañar si tenemos en cuenta que uno de los primeros fármacos que se utilizó para el tratamiento de esta enfermedad fue el cis-platino, un compuesto de platino. Un área en reciente expansión se conoce como Química Verde, cuyo fin está en realizar reacciones químicas con el menor impacto medioambiental posible. Por último, en la actualidad se están desarrollando compuestos Organometálicos para el desarrollo de tecnologías energéticas, como la generación de hidrógeno a partir de agua y de otras sustancias químicas menos frecuentes, o la transformación del metano al metanol.



Figura 5. Imagen de nanopartículas de rutenio sintetizadas a partir de un compuesto organometálico.

El Instituto de Investigaciones Químicas dedica buena parte de su trabajo al desarrollo de muchos de los aspectos que he mencionado anteriormente. Una forma, quizás, más sencilla de definirnos es como “arquitectos moleculares”, construimos moléculas que tengan unas estructuras y propiedades determinadas de una forma razonada basándonos en el enlace químico.

3. Páginas *webs* de interés

- Sobre Química Organometálica:

http://en.wikipedia.org/wiki/Organometallic_chemistry (en inglés)

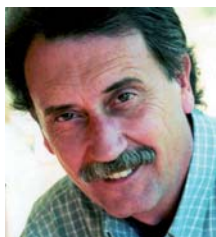
http://es.wikipedia.org/wiki/Qu%C3%ADmica_organomet%C3%A1lica (en español)

http://es.wikipedia.org/wiki/Compuesto_organomet%C3%A1lico

- Sobre los Premios Nobel de Química:

http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/

NOTAS SOBRE LOS AUTORES



Manuel Lozano Leyva es Catedrático de Física Atómica, Molecular y Nuclear (1994) en la Universidad de Sevilla. Colaborador de investigación en Múnich y en el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares, ha firmado más de 70 artículos en revistas internacionales y cuatro libros de divulgación científica. Ha dirigido 13 tesis doctorales calificadas Cum Laude. Entre otros méritos, destaca como primer director del Centro Nacional de Aceleradores y representante de España en el Comité de Expertos de Física Nuclear de la European Science Foundation.



Cecilia Gotor Martínez es Doctora en Ciencias Químicas por la Universidad de Sevilla desde 1988. Realizó varias estancias posdoctorales en Estados Unidos y en 1993 se incorporó al Departamento de Bioquímica Vegetal y Biología Molecular como investigadora posdoctoral y, posteriormente, como Profesora Asociada. En el año 2000 se unió al Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis como Científica Titular del CSIC y desde 2008 es Investigadora Científica. Colidera el grupo “Metabolismo de Cisteína y Redes Metabólicas” y es investigadora responsable de numerosos proyectos de investigación.



Victoria Merino-Puerto es Licenciada en Biología por la Universidad de Extremadura y becaria predoctoral del Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis, donde estudia los mecanismos de anclaje intercelular que permiten mantener la estructura del filamento cianobacteriano. Su trabajo se encuentra asociado al proyecto “Asimilación del nitrógeno y multicelularidad en cianobacterias”, del CSIC, para cuyo desarrollo realizó una estancia de tres meses en el Max Planck Institute (Tübingen, Alemania). Es coautora de artículos publicados en revistas como *Journal of Bacteriology* y *Molecular Microbiology*.



Enrique Flores García es Profesor de investigación del CSIC. Licenciado y doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad de Sevilla, formó parte de la escuela del profesor Manuel Losada Villasante. A comienzos de los ochenta, realizó estudios posdoctorales con el profesor C. Peter Wolk en la Michigan State University. Miembro del comité editorial de la revista *Journal of Bacteriology* de la *American Society for Microbiology*, dirigió el Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis entre 2006 y 2010. Sus contribuciones fundamentales se enmarcan en los campos de la regulación de la transcripción génica.



Antonia Herrero Moreno es Profesora de Investigación del CSIC en el Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis. Obtuvo tanto el grado de Licenciada como el de Doctora en Biología por la Universidad de Sevilla, y realizó una estancia postdoctoral en el laboratorio del Prof. C. P. Wolk, en la Universidad Estatal de Michigan, contribuyendo al desarrollo de procedimientos para el análisis genético de las cianobacterias filamentosas formadoras de heterocistos. Sus temas actuales de investigación se centran en la regulación de la expresión génica y las vías de comunicación intercelular en estos organismos.



Juan Pedro Espinós Manzorro es Licenciado en Química por la Universidad de Sevilla (1984) y doctor en Química por la misma Universidad (1990). Realizó su estancia postdoctoral en la Universidad de Tübingen (Alemania). En 2003 logra plaza como Científico Titular del CSIC, promocionando sucesivamente a Investigador Científico en 2002 y a Profesor de Investigación en el 2009. Desarrolla su investigación dentro del grupo “Superficies, Intercaras y Capas Finas” del Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla. Es coautor de más 160 publicaciones científicas y varias patentes.



Adrián Durán Benito es Licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Sevilla (2001) y Doctor en Ciencias Químicas por la misma Universidad (2006). Realizó su Tesis Doctoral en el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla. Hizo estancias postdoctorales en el European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) en Grenoble, y en el Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France (Laboratorios del Museo del Louvre) en París durante el período 2007-2009. En 2010 se reincorporó al ICMS, donde desarrolla su labor científica acerca del estudio del Patrimonio Histórico y Cultural.



Juan Manuel Benito es Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Sevilla (2001). Entre 2002 y 2004 fue Investigador posdoctoral asociado al Laboratorio Carlsberg de Copenhague (Dinamarca). A finales de 2004 se incorporó al Instituto de Investigaciones Químicas en Sevilla, primero como Investigador post-doctoral, y desde 2006 como Científico Titular del CSIC. Su trabajo, que ha producido cerca de 40 publicaciones y patentes, fue distinguido en 2007 con el Premio de Investigador Joven de la Real Maestranza de Caballería de Sevilla.



Salvador Conejero es Licenciado en Ciencias Químicas (1997) y Doctor en Química (2001). Realizó estancias predoctorales en las Universidades de Rennes (1997) y Paul-Sabatier-Toulouse (1998), y una estancia postdoctoral en la Universidad de California-Riverside (2002-2005), incorporándose posteriormente en el Departamento de Química Organometálica y Catálisis Homogénea del Instituto de Investigaciones Químicas de Sevilla. Desde 2007 es Científico Titular del CSIC en este mismo departamento. Obtiene el Premio Jóvenes Investigadores de la Real Sociedad de Química Española en 2007.

COMISIÓN DE DIVULGACIÓN CICCARTUJA

M^a Dolores Vega Pérez. Gerente del cicCartuja. Licenciada en Biología.

M^a del Pilar Palma Ramírez. Investigadora Científica del CSIC. Instituto de Investigaciones Químicas.

Adela Muñoz Páez. Profesora Titular de la Universidad de Sevilla. Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla.

M^a Teresa Ruiz Pérez. Investigadora Post-Doctoral Contratada del CSIC. Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis.

M^a José Plaza Ballesteros. Titulada Superior Contratada. Licenciada en Biología.

COORDINADORES DE LA EDICIÓN

Leticia Álvarez Durán. Periodista. Oficina de Comunicación del cicCartuja.

José Romero Portillo. Periodista. Oficina de Comunicación del cicCartuja.



Avda. Américo Vespucio, 49
Isla de la Cartuja
41092 Sevilla

T. +34 954 489 501
F. +34 954 460 165

www.ciccartuja.es
ciccartuja@ciccartuja.es