

# B-IMEYMAT

INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN MICROSCOPIA ELECTRÓNICA Y MATERIALES



# IMEYMAT

Nuevos materiales para construir el futuro.

 [www.imeymat.uca.es](http://www.imeymat.uca.es)

 [twitter.com/imeymat1](https://twitter.com/imeymat1)

 [facebook.com/imeymat1](https://facebook.com/imeymat1)

IMEYMAT  
Facultad de Ciencias,  
11510 Puerto Real, Cádiz  
956016349  
[imeymat@uca.es](mailto:imeymat@uca.es)



## *Acerca de este boletín...*

B-IMEYMAT es una revista en formato electrónico y abierto elaborada por el Instituto Universitario de Investigación en Microscopía Electrónica y Materiales (IMEYMAT) de la Universidad de Cádiz. Esta revista nace con el objetivo de hacer visibles los trabajos de investigación científica llevados a cabo en el Instituto, así como los acontecimientos más relevantes ocurridos en el ejercicio, de esta manera pretendemos acercar la actividad científica que desarrollamos a la sociedad.

El IMEYMAT es un Instituto Universitario joven pero también pionero en Andalucía, creado en 2014 por iniciativa de la Universidad de Cádiz para apoyar y dar impulso a sus actividades de investigación, de transferencia tecnológica y de creación de empresas de base tecnológica, además de la educación y la formación especializada, en el campo de los materiales y sus aplicaciones. A pesar de su reciente creación cuenta con una trayectoria de más de 15 años de trabajo como Unidad Científica que lo ha convertido en un Centro de Excelencia con reconocimiento internacional. La actividad del Instituto es especializada e interdisciplinar, se usan y desarrollan procedimientos de microscopía electrónica y rutinas para la interpretación de los resultados de estos experimentos, a la vez que se aplican otras técnicas complementarias; se analizan varios tipos

de materiales con múltiples aplicaciones, y se recibe formación a la vez que se imparte enseñanza sobre éstos; e intervienen de forma sinérgica expertos de ramas de la Química y la Física del Estado Sólido, y de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. De esta manera el Instituto sirve a sus decenas de miembros como plataforma para identificar nuevas oportunidades de cooperación y financiación, fomentando la realización de proyectos I+D+i colaborativos. Gracias a ello la Universidad de Cádiz es una institución de referencia en Microscopía Electrónica por el valor de sus facilidades instrumentales; la capacidad, experiencia, y productividad de alto impacto de sus científicos; y su red de contactos activos y fluidos con grupos líderes en la aplicación de estas técnicas a nivel mundial.

En este segundo número del Boletín del Instituto Universitario en Microscopía Electrónica y Materiales, B-IMEYMAT, se realiza un recorrido por los principales acontecimientos producidos en los últimos meses, las líneas de investigación más actuales y datos bibliométricos sobre nuestra producción científica y tecnológica hasta comienzos de 2019. Además, se muestran resúmenes divulgativos de los proyectos de nuestro Plan Propio desarrollados en 2018.



Los sólidos esconden gran riqueza y complejidad no perceptibles para los sentidos humanos. La materia se organiza a diversas escalas, muchas veces de manera ordenada, a miles e incluso a millones de aumentos. La tecnología de los materiales pone en valor sus propiedades, conociéndolas en profundidad mediante su observación, y controlándolas para conseguir una funcionalidad, a través de la manipulación de estructura y composición a las distintas escalas. Para esta finalidad científica, las versátiles técnicas de microscopía electrónica permiten visualizar y estudiar la disposición de los átomos a varios niveles de profundidad, incluso debajo del nanómetro.

El IMEYMAT es una red sinérgica de la UCA constituida por científicos y técnicos, que mutualizan espacios de investigación y recursos económicos. Es una agregación de expertos de campos de la química, la física, y la ciencia e ingeniería de materiales, que se constituyó hace más de 15 años, y en 2014 pudo lograr el estatus de Instituto Universitario de Investigación gracias a su excelencia e internacionalización. En este quinquenio, el Instituto ha gozado de una organización y unos presupuestos que le permitió consolidarse y crecer, a través del fomento de las colaboraciones internas, y la puesta en marcha de programas propios de realización de proyectos, de adquisición y reparación de equipamiento, y de incorporación de talento. Este aprendizaje cooperativo también ha llevado a que la captación de fondos externos (proyectos y contratos) haya sido más efectiva y cuantiosa año tras año.

Todo este despliegue ha ido siguiendo las consignas de nuestro Plan Director, consensuado para el trienio 2017-2019, y de los Contratos Programas que se firman anualmente con los responsables de investigación y transferencia de la Universidad de Cádiz. El IMEYMAT también se responsabiliza de la difusión de sus actividades, y adquirió el compromiso de lanzar un primer número de una revista electrónica propia durante 2018. Esperamos que puedan apreciar en este segundo boletín de 2019, nuestro empeño y sensibilidad por el desarrollo de los materiales.

Prof. Dr. Francisco Miguel Morales Sánchez  
 Director del IMEYMAT



**Destacados: Difusión Pag. 6**



**Destacados: Avances en Investigación, Pag. 8**





*El IMEYMAT en Cifras, pag. 10*



*Proyectos IMEYMAT, Pag. 12*



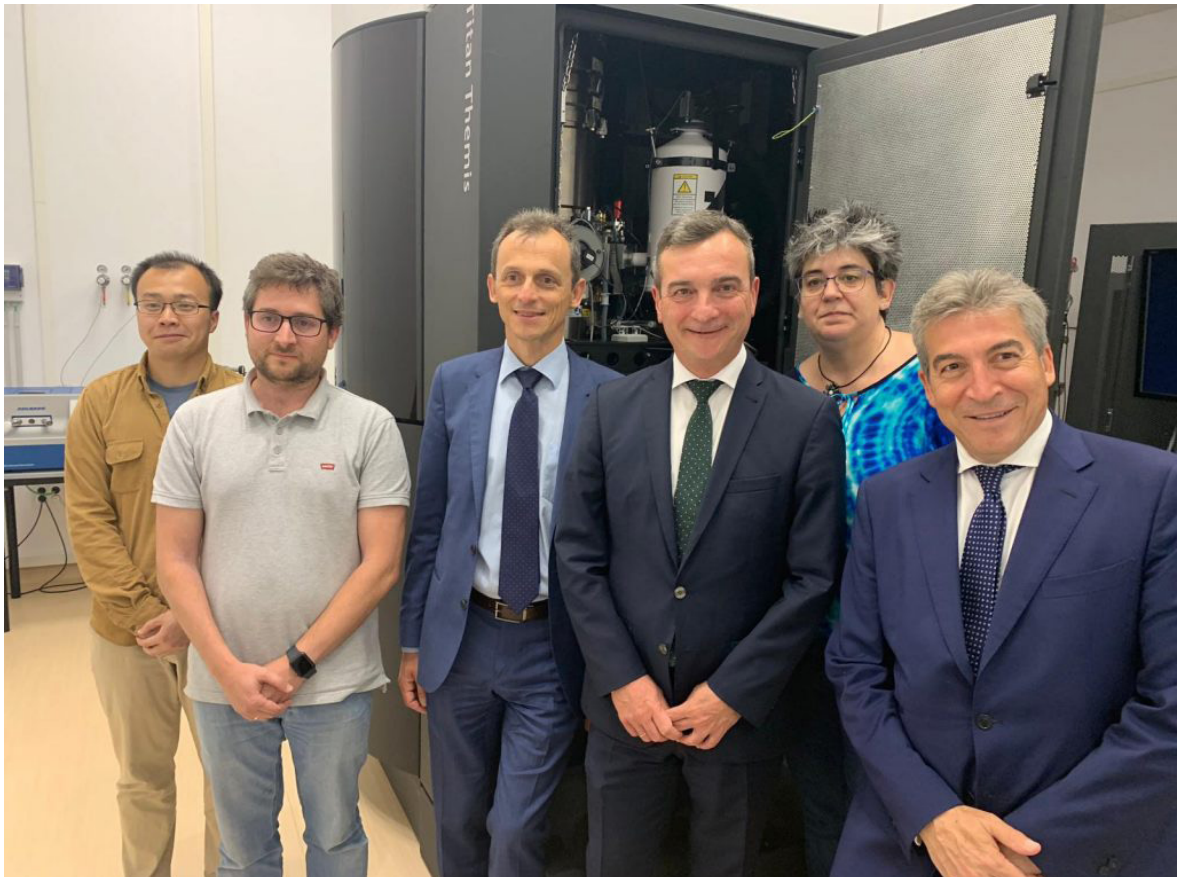
*Eventos divulgativos, Pag. 34*

**ISSN y Depósito Legal:** 2659-6717 (Servicio de Publicaciones UCA)

**Editor:** Francisco M. Morales Sánchez (Dirección del IMEYMAT)

**Diseño y Composición:** Manuel Figueroa Recio y Juan María Torrejón Martín (Gestión del IMEYMAT)

**Fotografía de la cubierta:** Pedro Mateos Pérez (Gabinete de Comunicación y Marketing UCA)



## *Pedro Duque, Ministro de Ciencia, Innovación y Universidades, visita instalaciones gestionadas por investigadores del IMEYMAT*

El 4 de junio de 2019 tuvo lugar la primera visita a la Universidad de Cádiz del Ministro en funciones de Ciencia, Innovación y Universidades, Pedro Duque, dentro de su itinerario por distintas universidades españolas, con el fin de conocer de primera mano el trabajo que se realiza en cada una de éstas. En esta visita, el Ministro estuvo acompañado por el Rector en funciones Eduardo González Mazo, el delegado en funciones del Gobierno de España en Andalucía, Lucrecio Fernández, y el subdelegado en funciones del Gobierno en Cádiz, José Antonio Pacheco.

Varios centros del Campus de Puerto Real fueron objeto de esta visita, y entre ellos, la Facultad de Ciencias, con el fin de conocer uno de los equipos que sitúan a la Universidad de Cádiz en vanguardia internacional de la investigación de materiales a escala subatómica: el microscopio FEI Titan Cubed Themis. Este microscopio, perteneciente a la División de Microscopía Electrónica de los Servicios Centrales de Investigación Científica y Tecnológica (SC-ICYT), es el más potente y avanzado que existe actualmente en España y uno de los pocos presentes en Europa.

La visita fue guiada por nuestros compañeros, miembros del IMEYMAT, Miguel López Haro y Susana Trasobares Llorente que mostraron al Ministro el funcionamiento, así como, los diferentes componentes, módulos y accesorios posee el microscopio TITAN.

Además del microscopio, el Ministro en funciones visitó el

Simulador de navegación y maniobra y el Laboratorio de motores y máquinas del Centro Andaluz Superior de Estudios Marinos (CASEM) y el Taller mecánico y el Laboratorio de fabricación aditiva de la Escuela Superior de Ingeniería (ESI).

Una vez terminada la visita, el Ministro concluyó que estaba “realmente impresionado por el trabajo que se ha realizado en los últimos años en la Universidad de Cádiz” y que nuestra universidad “está adquiriendo un nivel del que podemos sentirnos orgullosos”.

Cabe destacar que el conjunto de las divisiones de los SC-ICYT denominadas “División de Microscopía Electrónica” y “Laboratorio de Preparación de Muestras para Microscopías”, cuyos responsables científicos son miembros del IMEYMAT, se constituyó en diciembre de 2018 tras un exigente proceso selectivo como nodo de la Infraestructura Científico y Técnica Singular (ICTS) llamada “ELECMI: Infraestructura Integrada de Microscopía Electrónica de Materiales”, que pasa a formar parte de una red formada por otros tres nodos en Madrid, Zaragoza y Barcelona. Este hito dota a la UCA con su primera presencia en ICTS, y coloca al entorno del Instituto IMEYMAT en el prestigioso mapa nacional de los 59 nodos correspondientes a 29 ICTS. El nodo ELECMI-UCA está coordinado por el Prof. Dr. José Juan Cálvino Gámez, y la pieza estrella del conjunto de equipos es el microscopio Titan.



## *El IMEYMAT muy presente en la 1ª edición de los Premios a la Excelencia Investigadora 2018/2019*



El 25 de junio de 2019, tuvo lugar el acto de entrega de los I Premios a la Excelencia Investigadora del Plan Propio de Investigación y Transferencia 2018/2019 de la Universidad de Cádiz en el salón de Actos del Rectorado. Una quincena de investigadores de la UCA recibió este galardón en reconocimiento a su aportación de calidad científica, entre los que se encontraban varios investigadores pertenecientes al IMEYMAT.

Esta primera convocatoria de los Premios a la Excelencia Investigadora de la UCA contó con tres modalidades: Joven Investigador/a, para aquellos investigadores menores de 40 años (en función de su actividad en los anteriores cinco años); Mujer investigadora, en función de su actividad científica en los anteriores 10 años; y a la Mejor contribución científica, publicada en el año anterior. El objeto de estos premios es incentivar la excelencia en investigación de la Universidad de Cádiz, basándose en la calidad y productividad asociada de los investigadores de la UCA en las tres modalidades.

Los premios obtenidos por miembros del IMEYMAT fueron los siguientes:

- Xiaowei Chen. Premio Mujer Investigadora en el Área de Ciencias.
- Sergio I. Molina Rubio. Premio a la Mejor Contribución en el Área de Ingeniería y Arquitectura.

- Teresa Ben Fernández. Premio Mujer Investigadora en el Área de Ingeniería y Arquitectura.

El Rector, Eduardo González Mazo, apuntó que “hoy es un día importante para la universidad por este acto de reconocimiento. Se les agradece y reconoce su trabajo y excelencia”. De este modo, aseguró que “la investigación es una ilusión de cada día, de lo contrario no se haría investigación”. Desde la Universidad de Cádiz “hemos intentado atraer y retener el mayor número de talento. Sin vosotros no sería posible nada. Necesitáis apoyo y recursos. Agradecemos públicamente a todos el esfuerzo que habéis hecho y la tarea que habéis desempeñado. En los periodos peores de crisis no hemos ido manteniendo para estar en condiciones para el crecimiento”.

Por último, el Rector presentó los datos que la Universidad de Cádiz había obtenido en los últimos años en materia de investigación: entre 2011 y 2018, se ha incrementado en un 270% los investigadores que se han beneficiado de becas posdoctorales del plan propio o de las convocatorias Ramón y Cajal y Juan de la Cierva, pasando de los 13 en 2011 a los 48 en 2018. Además, se ha producido un aumento del 55% de las publicaciones científicas en revistas de impacto (de las 724 en 2011 a las 1.125 en 2018), llegando, en este mismo periodo de tiempo, de 192 a 350 publicaciones en coautoría internacional (+ 82%). Además, la UCA ha pasado de los 2,2 millones de euros de financiación para infraestructuras científicas de 2011 a la cifra récord de más de 12,5 millones en 2018.



## *Las mujeres del IMEYMAT protagonizan las III 'Rutas por el Nanomundo'*

El Colegio Mayor de la Universidad de Cádiz ha acogido la tercera sesión de la actividad de divulgación científica Rutas por el Nanomundo, una iniciativa coordinada por el profesor del Departamento de Física de la Materia Condensada de la UCA, Óscar Bomati, y que, en esta ocasión, tuvo como temática principal la relación entre Mujer y Ciencia: Nanocientíficas en la UCA.

Con un formato novedoso de divulgación científica, denominado *Jamming Show*, se combina el uso de diferentes herramientas de comunicación, como es el audiovisual, el *role-play*, el arte escénico y la mesa de debate, con objeto de provocar que el espectador/ participante sea parte activa de la Ciencia. Así, a medida que los espectadores entran al lugar de celebración del evento, reciben una ficha que luego utilizarán para participar en el encuentro.

Tras una breve presentación, se realizaron varias preguntas dando paso al debate entre expertas en la materia, que en esta edición ha estado protagonizado por investigadoras de la Universidad de Cádiz, 7 de las 8 pertenecientes al Instituto IMEYMAT, de distintas áreas de conocimiento, de diferentes generaciones y con dispares niveles de responsabilidad dentro de la institución académica:

- M<sup>a</sup> del Pilar Yeste Sigüenza, Profesora Sustituta Interina.
- Carlota Armillas Mateos, Beneficiaria beca ICARO IMEYMAT.
- Estefanía Torres Ávila, PDI Garantía Juvenil.
- Verónica Braza Blanco, Investigadora Predoctoral.
- María Jesús Mosquera Díaz, Catedrática de Universidad.

- Rosario Hernández Galán, Catedrática de Universidad.
- Ana Belén Hungría Hernández, Profesora Titular de Universidad.
- Teresa Ben Fernández, Profesora Titular de Universidad.

Estas científicas han explicado sus diferentes puntos de vista en relación a la temática del *Jamming Show*, apoyando sus argumentos con elementos gráficos, infografías, etc.

En la sesión abordó el tema de la desigualdad entre géneros en el ámbito de la ciencia y tecnología. Hay que tener en cuenta que, por ejemplo, a pesar de que el 54,3% del total de estudiantes del sistema universitario español son mujeres, únicamente un 15% de estas personas matriculadas en las carreras vinculadas con las STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) son del sexo femenino.

Esta proporción es aún más llamativa según se progresa en la carrera científica, así, por ejemplo, hoy en día, solo el 39% de los investigadores en España son mujeres, proporción que se desploma en los puestos de máxima responsabilidad, donde las catedráticas solo representan el 20%.

Las investigadoras de la UCA analizaron cuáles son los factores y/o condicionamientos sociales que llevan a la existencia de una brecha de género en lo relativa a la enseñanza las ciencias y la tecnología, así como cuales son las desventajas a las que se enfrenta las científicas a lo largo de su carrera profesional y los obstáculos que encuentran a la hora de intentar promocionar a niveles de alta responsabilidad científica, académica, institucional y/o de gestión.



## *Reseña del libro “Capas delgadas y modificación superficial de materiales” por Ramón Escobar Galindo*



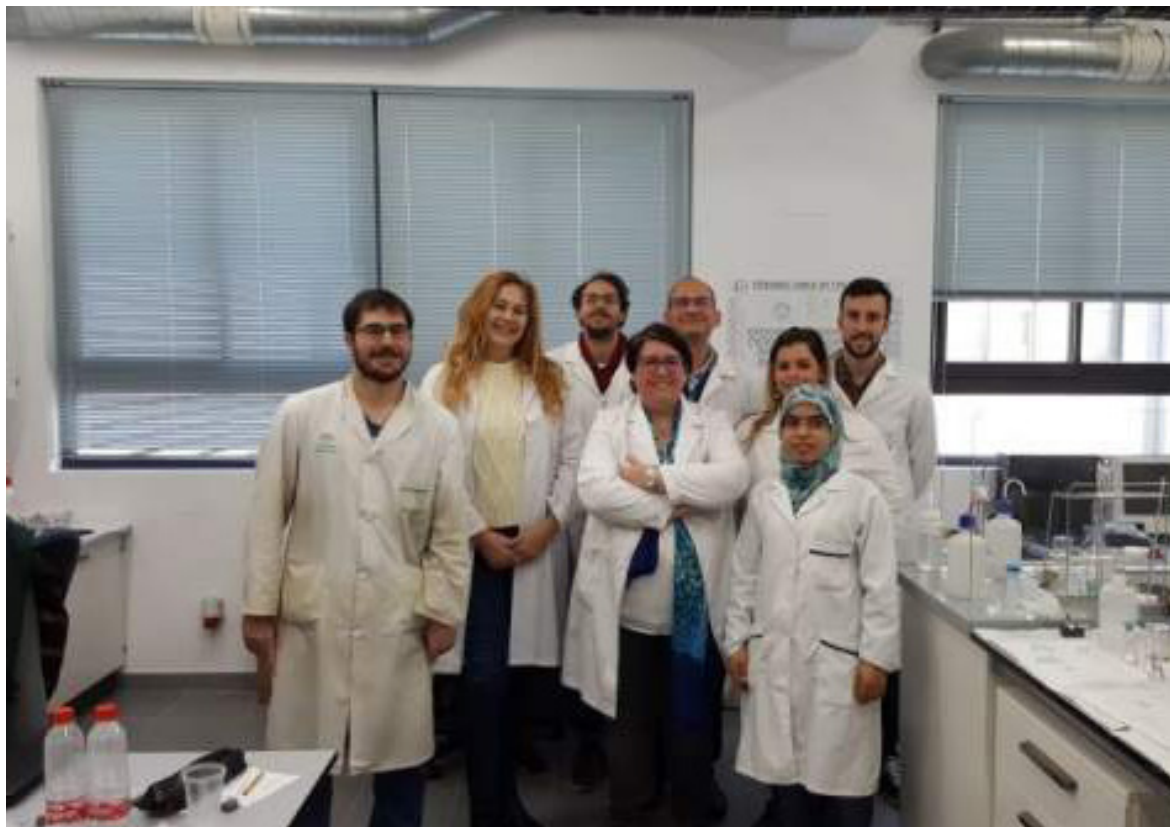
El libro “Láminas delgadas y recubrimientos” publicado en 2003 por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) ha representado una obra de referencia para varias generaciones de investigadores (en España y América) trabajando en el estudio y desarrollo de materiales en forma de capa delgada en los últimos 15 años. En este periodo de tiempo las aplicaciones de este campo en el tratamiento y modificación de las propiedades de la superficie de un sólido se han ido extendiendo paulatinamente. Esto se ha debido fundamentalmente a un desarrollo espectacular de nuevas nanoestructuras superficiales de variada funcionalidad que han producido un gran impacto en nuestra sociedad. Es por esto que la actualización de los contenidos del libro en un nuevo volumen titulado “Capas delgadas y modificación superficial de materiales” supone una gran noticia para los investigadores del campo. En este texto se ponen al día las herramientas de síntesis, modificación y posterior caracterización de las primeras capas atómicas de la superficie de materiales. El libro sigue manteniendo el rigor científico de su antecesor a la hora de explicar conceptos físico-químicos, básicos y aplicados, relacionados con la funcionalización de superficies y la preparación de capas delgadas. Pero a la vez conserva el lenguaje sencillo accesible que hizo característico al libro publicado en 2003 por lo que supone un libro altamente recomendado para estudiantes de máster o doctorado en facultades y escuelas de ingeniería, así como a profesionales y técnicos de la industria interesados en adquirir una formación sólida en el tema.

En la primera parte el libro introduce conceptos generales de tecnologías de plasma, así como de los fundamentos del crecimiento de capas delgadas. En la parte II se describen los diferentes métodos de preparación y modificación superficial de capas delgadas. A continuación, en la parte III se detallan las técnicas más utilizadas en la caracterización de superficies y capas delgadas para concluir en la parte IV con su aplicación en diversos sectores tecnológicos: fotónica y optoelectrónica, almacenamiento de datos, protección metalúrgica en ambientes extremos, biomateriales, captación de la energía solar fotovoltaica o térmica, etc.

Los autores, investigadores del CSIC con amplia experiencia en cada uno de los temas tratados, han trabajado coordinadamente para ofrecer un texto unificado en cuanto a presentación y nivel de contenidos, evitando repeticiones innecesarias muy frecuentes en este tipo de textos y, al mismo tiempo, con numerosas referencias cruzadas entre capítulos que permite ampliar el campo de visión del lector en cada tema.

En resumen, “Capas delgadas y modificación superficial de materiales” aspira a convertirse en el manual de referencia para las nuevas generaciones de científicos e ingenieros de superficies en habla hispana.

*Ramón Escobar Galindo*



## *Desarrollo de un nuevo biosensor para la determinación de polifenoles en vino y cerveza.*

El grupo de investigación FQM-249: “Instrumentación y Ciencias Ambientales”, del Departamento de Química Analítica de la Facultad de Ciencias, perteneciente al IMEYMAT, con la colaboración del Instituto de Química Física Ilie Murgulescu de la Academia Rumana y la Universidad Politécnica de Bucarest (Rumanía) han desarrollado un nuevo método para determinar el contenido de polifenoles en vinos y cervezas. Se trata de un dispositivo biosensor que aumenta la fiabilidad de las estrategias actuales con un menor coste y una mayor rapidez.

Esta nueva metodología de análisis detecta de forma selectiva estas sustancias químicas presentes en algunos alimentos como el vino o la cerveza, pertenecientes a la dieta mediterránea, con efectos antioxidantes y beneficiosos para la salud. Durante los controles de calidad, estos compuestos son también un factor de análisis, debido a que están directamente relacionados con la estabilidad y calidad de estas bebidas.

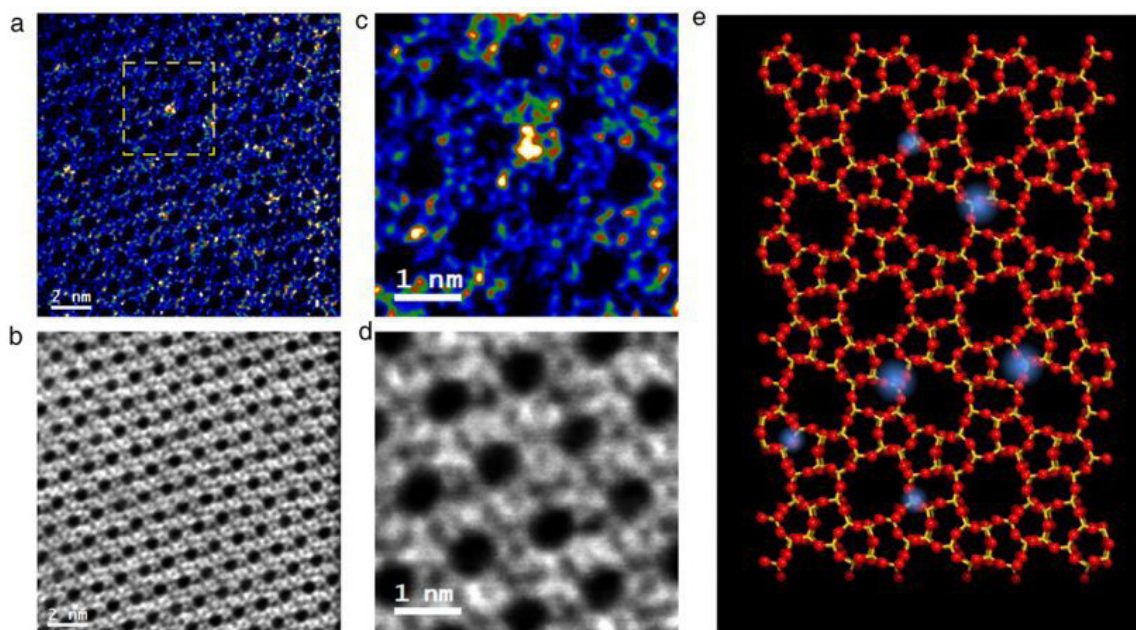
Para la fabricación de este dispositivo, se introduce un electrodo en una mezcla que contiene la enzima tirosinasa, capaz de detectar los compuestos polifenólicos, y un polímero conductor, es decir, un material que facilita la conductividad eléctrica. Aplicando la corriente se deposita la enzima y se obtiene el biosensor.

El estudio titulado *Assessment of the Polyphenol Indices and Antioxidant Capacity for Beers and Wines Using a Tyrosinase-Based Biosensor Prepared by Sinusoidal Current Method*, publicado en la revista *Sensors*, describe el procedimiento para depositar la enzima a través de un proceso que utiliza como novedad corrientes sinusoidales, que son un tipo de corriente alterna que actúa de forma cíclica en lugar de linealmente, como es habitual: “esto conlleva unas mejores propiedades en los biosensores resultantes, como un aumento de su precisión y una mayor vida útil”, indica el autor principal e investigador del Instituto IMEYMAT, Juan José García Guzmán.

Los investigadores han realizado un muestreo de nueve cervezas (cuatro cervezas rubias, tres negras y dos sin alcohol) y cuatro vinos (tres tintos y uno blanco), adquiridos en tiendas locales y al alcance del consumidor. Los resultados del biosensor para ambas bebidas son similares a los obtenidos por otros procedimientos publicados anteriormente. Por otra parte, también se determinó la capacidad antioxidante de las muestras y se obtuvo una alta relación entre ésta y el contenido de polifenoles obtenido con el dispositivo propuesto. Por lo tanto, el biosensor es capaz de discernir el contenido de polifenoles entre distintos tipos de cervezas y vinos, presentando un rango de respuesta lineal y unos buenos límites de detección y cuantificación, reproducibilidad, estabilidad, precisión y exactitud.



*Investigadores del IMEYMAT muestran en la revista "Nature Materials" una nueva estrategia para la estabilización de catalizadores gracias a la resolución atómica.*



Investigadores del IMEYMAT, integrados en el grupo (FQM-334) Estructura y Química de nanomateriales que dirige el profesor J. J. Calvino, han logrado identificar con alta precisión la ubicación de clústeres de platino dentro de los poros de zeolitas, así como modular su reactividad, lo que ha sido crucial en el desarrollo de una nueva estrategia de estabilización de catalizadores basados en materiales cristalinos porosos

Este importante trabajo, publicado en la revista Nature Materials, tiene como primer autor UCA al investigador M. López Haro, del departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica, y ha tomado como punto de partida el hecho de que las especies metálicas, como el platino, a escala subnanométrica tienen propiedades singulares, pero con una clara limitación en aplicaciones catalíticas de alta temperatura. Por ello, se ha trabajado en controlar la generación y localización de agrupaciones de este metal en zeolitas, ya que estas últimas pueden servir como soporte para estabilizar los catalizadores.

Esta investigación se ha llevado a cabo a lo largo de más de un año, en el que se han desarrollado diversas metodologías innovadoras de análisis a escala atómica de clústeres

metálicos ultradispersos en la matriz de zeolitas. Empleando una de las técnicas más recientes (iDPC) en el ámbito de la Microscopía Electrónica - que ha sido instalada en 2018 en el microscopio FEI Titan Themis 60-300 de la UCA -, estos científicos han conseguido localizar especies metálicas subnanométricas en sitios concretos y modular su reactividad, llegando a catalizadores con estabilidad, selectividad y actividad muy altas para la deshidrogenación del propano.

Los resultados obtenidos han sido posibles gracias a dos elementos: el factor humano y la importante infraestructura científica que posee la Universidad de Cádiz. En cuanto al factor humano, el Instituto IMEYMAT gestiona una escuela de microscopistas electrónicos con experiencia contrastada al máximo nivel y de carácter internacional. Y con respecto al papel de la infraestructura científica que posee la Universidad de Cádiz, es importante indicar que el microscopio FEI Titan Themis 60-300, el cual hace posible este tipo de experimentos tan específicos, algo que solo se puede hacer en el ámbito nacional desde la División de Microscopía Electrónica de los Servicios Centrales de Investigación Científica y Tecnológica de la UCA.

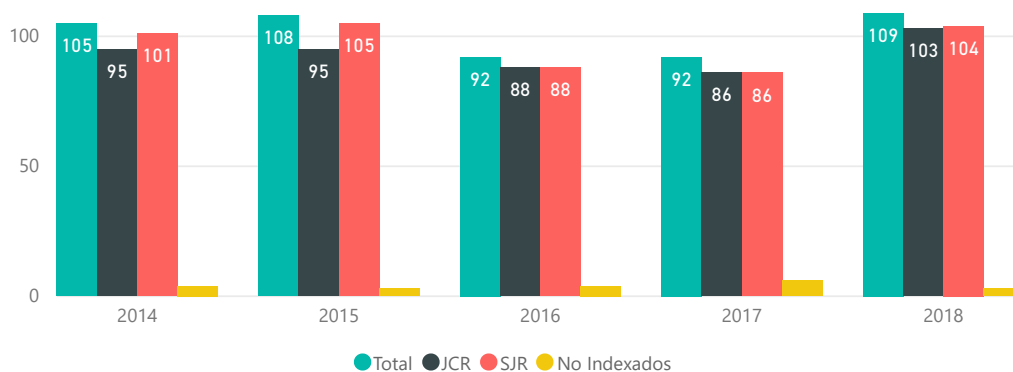
# EL IMEYMAT EN CIFRAS

PERIODO 2014 - 2018

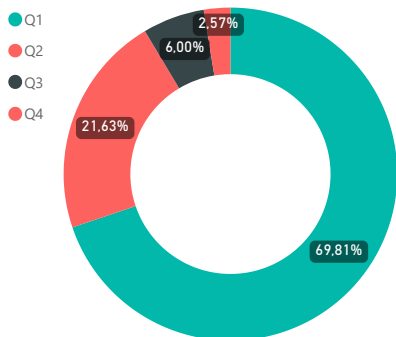
**506**  
PUBLICACIONES

**44**  
PROYECTOS  
ACTIVOS

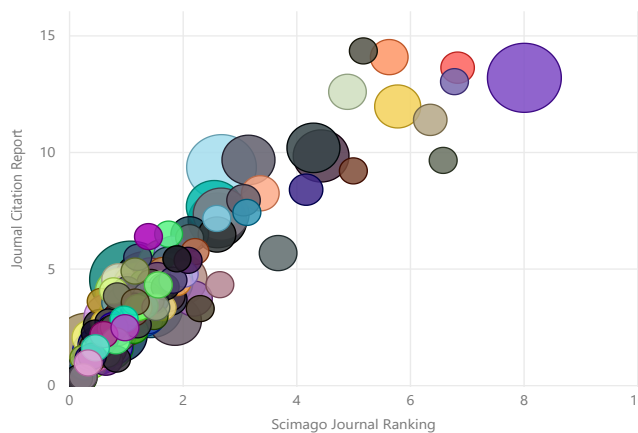
**20,3M€**  
FINANCIACIÓN



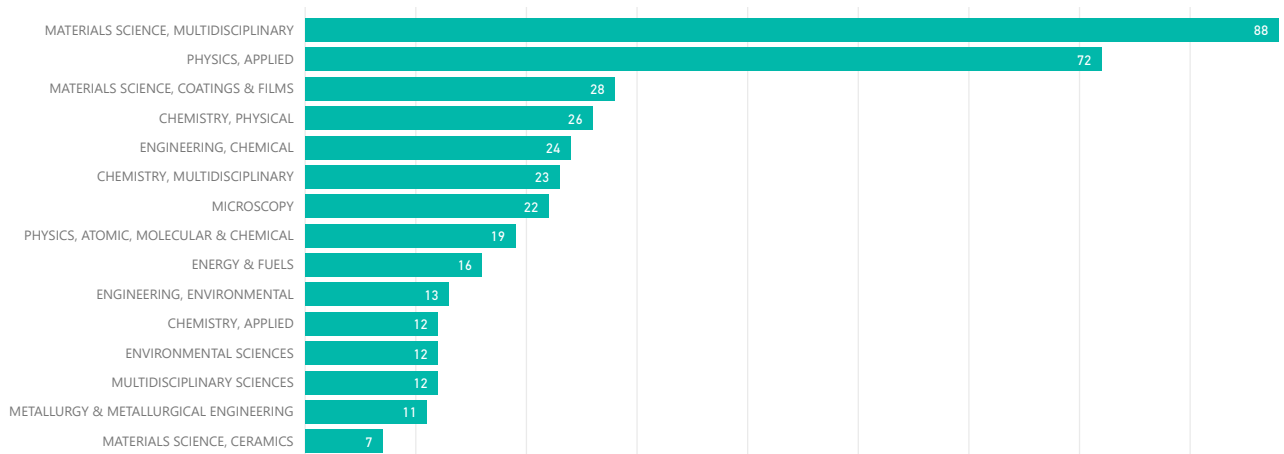
\*Publicaciones anuales categorizadas por indexación.



\*Las 467 publicaciones JCR 2014-2018 clasificadas por cuartiles en función de sus índices de impacto.



\* Correlación entre valores de índice de impacto (eje x: JCR, eje y: SJR) y número de artículos publicados (tamaño burbuja) en las revistas más utilizadas por nuestros investigadores.

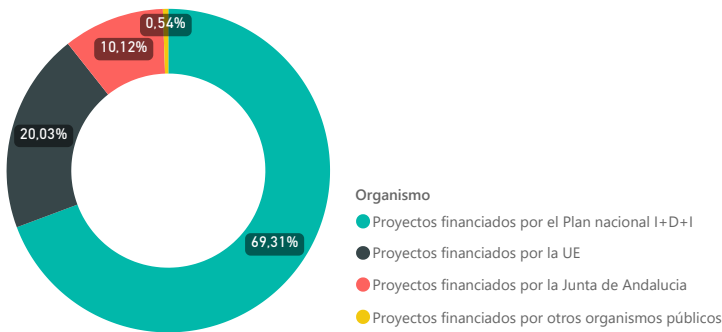


\* Top 15 de las categorías más comunes de los artículos publicados por investigadores del Instituto.

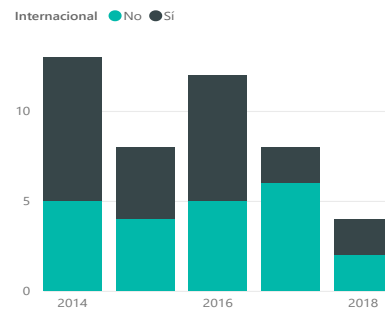


Tabla de financiación obtenida de proyectos y contratos, organizada por organismos financiadores.

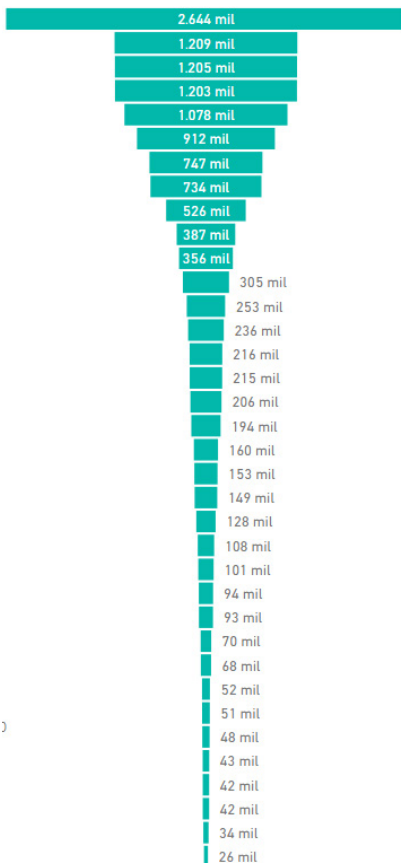
Organismo	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio	Total
Proyectos financiados por el Plan nacional I+D+I	2.340.178 €	491.865 €	486.600 €	175.450 €	827.546 €	864.328 €	4.321.639 €
Proyectos financiados por otros organismos públicos	0 €	0 €	15.400 €	7.700 €	10.500 €	6.720 €	33.600 €
Proyectos financiados por la Junta de Andalucía	630.988 €	0 €	0 €	0 €	0 €	126.198 €	630.988 €
Proyectos financiados por la UE	148.239 €	900.772 €	166.157 €	0 €	34.045 €	249.843 €	1.249.213 €
<b>Total</b>	<b>3.119.405 €</b>	<b>1.392.637 €</b>	<b>668.157 €</b>	<b>183.150 €</b>	<b>872.091 €</b>	<b>1.247.089 €</b>	<b>6.235.440 €</b>



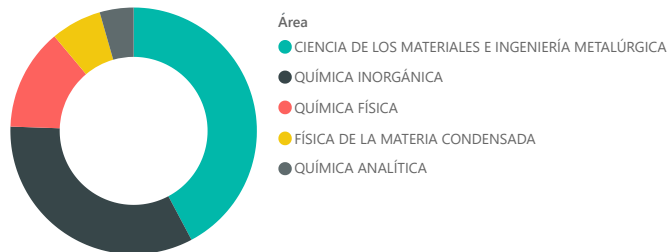
\* Financiación total obtenida, organizado por organismos financiadores.



\*Total de tesis doctorales dirigidas y defendidas por miembros del IMEYMAT para el periodo de análisis.

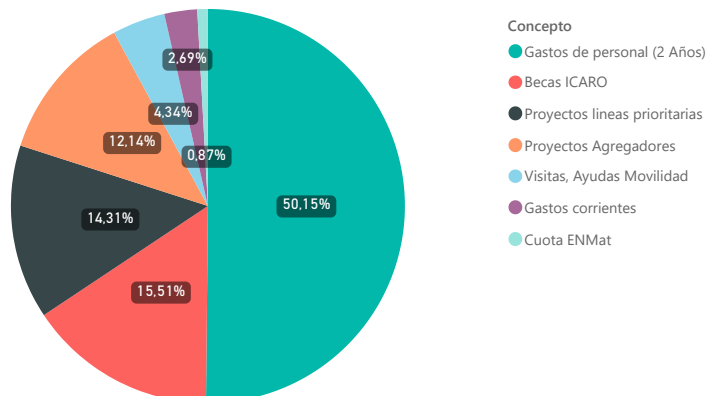


\* Proyectos de infraestructura FEDER liderados por investigadores del Instituto, organizados según importe,



\* Tesis organizadas por Área de Conocimiento.

## FINANCIACIÓN INTERNA DEL INSTITUTO



\* Distribución de ejecución del gasto para el presupuesto de 2019.

**“LIMITAR NUESTRA PERCEPCIÓN DE LA NATURALEZA A LA LUZ VISIBLE ES COMO ESCUCHAR MÚSICA EN UNA SOLA OCTAVA”**

- Neil deGrasse Tyson

# **PLAN PROPIO: PROYECTOS IMEYMAT**

\* Convocatoria 2018

Desde 2017, el Instituto dedica fondos a desarrollar una convocatoria propia de propuestas de investigación, denominadas “Proyectos IMEYMAT”. Para 2017, 2018 y 2019 se está cumpliendo el compromiso de incrementar de forma consecutiva los fondos asignados a proyectos propia y el número de proyectos dotados con financiación interna del IMEYMAT. En la primera edición de 2017 se financiaron 12 proyectos por un montante total de unos 28 k€, en 2018 se otorgaron 13 proyectos por valor de 30,5 k€ y en 2019 se financiaron 18 proyectos por valor de 37,5 k€. Aunque esta convocatoria es competitiva a nivel interno, los fondos dedicados al desarrollo de las propuestas no se contabilizan en las estadísticas del total de fondos externos captados por los Miembros del IMEYMAT.

En primer lugar, para ir desarrollando la actuación del Plan Director 2017-2019 denominada “Disponer financiación propia para asignar a líneas de investigación prioritarias por parte de la dirección del Instituto”, tanto en 2017 como en 2018, se financiaron 11 proyectos de este tipo (líneas prioritarias), mientras que en 2019 se aumentó esta cifra a 15. La cuota de reparto se realizó por áreas temáticas, considerándose un balance entre sus números de miembros, sus artículos de impacto, y su liquidez financiera en la anualidad. Cada equipo de investigación elige su línea prioritaria estratégica y al líder del proyecto de manera motivada. De

esta forma se cumple también con la actuación prevista de incorporar la productividad investigadora entre los criterios de reparto y distribución del presupuesto propio del Instituto.

Por otro lado, para desarrollar la actuación denominada “Realizar convocatorias propias de proyectos para iniciar nuevas líneas de investigación agregadoras de nuestras actividades”, se financiaron 1 proyecto de este tipo (agregador) en 2017, 2 en 2018 y 3 en 2019. Cada proyecto agregador implica al menos a tres equipos de investigación del IMEYMAT de distintas áreas de conocimiento, y debe generar sinergias entre ellos, fomentando la multidisciplinariedad, el uso de varias técnicas y el compromiso en la coautoría de artículos. Los proyectos agregadores tienen una inversión más alta que los proyectos de líneas prioritarias, y su creación constituye una plataforma para asesorar, poner en contacto líneas o grupos de investigación afines y potenciar la colaboración y su eficacia en la obtención de proyectos autonómicos, nacionales y europeos o contratos con empresas.

A continuación, se exponen descripciones breves de los resultados de 12 Proyectos IMEYMAT 2018. En la Memoria de Actividades 2018 se presentaron además con más detalle una recopilación de las propuestas de los 13 proyectos de convocatorias internas, y sus memorias de ejecución.







## CATALIZADORES NANOESTRUCTURADOS BASADOS EN ÓXIDOS DE CERIO Y LIBRES DE METAL NOBLE PARA LA REDUCCIÓN ELECTROQUÍMICA DE DIÓXIDO DE CARBONO.

Barroso-Bogeat. A.

Equipo de investigación Química de Sólidos y Catálisis, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

A pesar de las crecientes ventajas medioambientales e incentivos económicos asociados con la sustitución de los combustibles fósiles, se espera que estos permanezcan aún como la fuente de energía dominante a nivel mundial durante, al menos, las dos próximas décadas. Este previsible uso extendido y prolongado en el tiempo de los combustibles fósiles ha conducido a un incremento continuo de los niveles atmosféricos de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), principal gas de efecto invernadero, desde la década de 1950 y, como consecuencia, a un agravamiento de los serios problemas medioambientales derivados, directa e indirectamente, del calentamiento global del planeta. Ante esta perspectiva, el desarrollo de procesos efectivos y eficientes de captura, almacenamiento y conversión de  $\text{CO}_2$  se ha erigido en un pilar fundamental de las estrategias y políticas de lucha contra el calentamiento global, convirtiéndose por tanto

en un tema objeto de una amplia e intensa actividad investigadora. Entre las diferentes estrategias propuestas en los últimos años para reducir notablemente las emisiones de  $\text{CO}_2$ , su conversión en una amplia variedad de compuestos químicos y combustibles de alto valor añadido ha sido ampliamente aceptada como la más atractiva, desde los puntos de vista tanto medioambiental como económico, puesto que permite la valorización económica de este gas de efecto invernadero. En este sentido, es preciso destacar que la conversión química del  $\text{CO}_2$  en productos de alto valor añadido, especialmente combustibles, conlleva con frecuencia la reducción del átomo de carbono desde su estado de oxidación +4 al +2 o inferior, proceso afectado por serias limitaciones derivadas de la elevada estabilidad química de la molécula de  $\text{CO}_2$ . Por ello, para lograr las conversiones deseadas se hace indispensable un aporte sig-

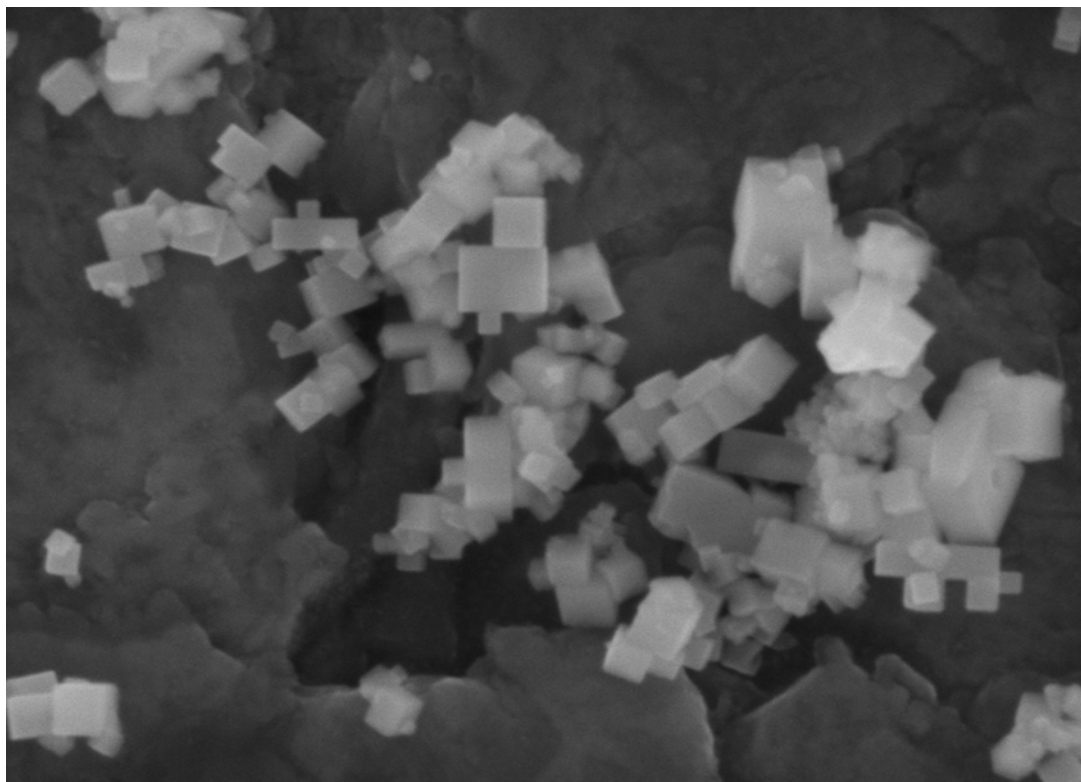


Figura 1. Nanocubos de ceria sintetizados mediante método hidrotermal.



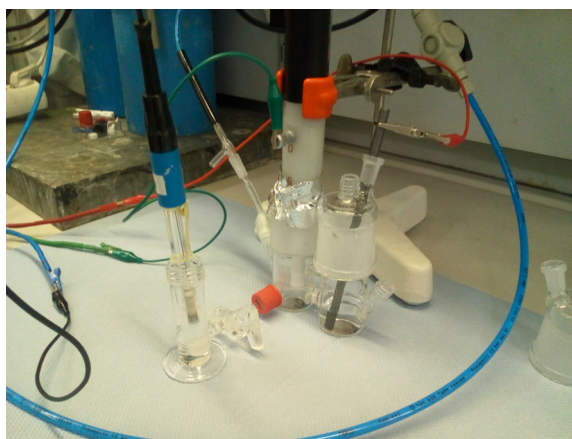
*“resulta sumamente interesante el desarrollo de nuevos electrocatalizadores más eficientes mediante sustitución del metal noble o reducción de su contenido”*

nificativo de energía y la aplicación de procesos catalíticos. Entre ellos, las conversiones electroquímicas a baja temperatura, basadas en el aporte de la energía necesaria para la conversión en forma de una corriente eléctrica a través de dos electrodos de materiales apropiados sumergidos en una disolución de  $\text{CO}_2$  y entre los que se aplica un determinado voltaje, han despertado especial interés debido a múltiples ventajas. Entre las principales cabría citar su mayor eficiencia energética y económica, la posibilidad de controlar el proceso y los productos generados simplemente regulando el voltaje aplicado a los electrodos, así como la compactidad de los dispositivos. Sin embargo, uno de los mayores inconvenientes de estas conversiones electroquímicas reside en el hecho de que los materiales de electrodo con mejores resultados hasta la fecha, en términos de eficiencia energética y selectividad hacia un determinado producto, están basados en metales nobles de elevado coste económico. En

consecuencia, resulta sumamente interesante el desarrollo nuevos electrocatalizadores más eficientes mediante sustitución del metal noble o, en su defecto, por reducción de su contenido.

En este contexto, el proyecto de investigación desarrollado se ha centrado en la preparación y caracterización de una serie de materiales nanoestructurados basados en ceria ( $\text{CeO}_2$ ) y libres de metal noble, así como en su posterior evaluación como electrodos para la conversión electroquímica de  $\text{CO}_2$  a productos de alto valor añadido en medio acuoso y no acuoso a temperatura ambiente.

Los materiales nanoestructurados preparados consistieron en nanocubos de ceria, que fueron recubiertos con capas superficiales de espesor nanométrico de óxidos de distintos elementos de tierras raras (itrio, lantano, praseodimio y terbio). Estos recubrimientos estuvieron encaminados a controlar las propiedades ácido-base y redox de la ceria, las cuales desempeñan un papel clave en la activación de la molécula de  $\text{CO}_2$ , paso previo para su reducción y conversión a otros productos de interés. Posteriormente, se incorporaron pequeñas cantidades de cobre sobre los sistemas nanoestructurados resultantes. La evaluación de los materiales preparados como electrodos en la conversión electroquímica de  $\text{CO}_2$  en disolución reveló que incluso las muestras sin cobre en su composición presentaron una cierta actividad para la reducción de esta molécula en medio metanol, conduciendo a formiato de metilo, un compuesto con amplias aplicaciones industriales, como producto principal.



**Figura 2.** Dispositivo utilizado para los experimentos de reducción electroquímica.



El Dr. Adrián Barroso se licenció en Química en 2010 por la Universidad de Extremadura, concluyó el Máster de Contaminación Ambiental en 2012 en esta misma Universidad, donde en 2015 recibiría su doctorado en Ciencia y Tecnología Química con la calificación de sobresaliente “cum laude”, siendo galardonado además con el Premio Extraordinario de Doctorado y el Premio a la Investigación 2016 de la Real Academia de Doctores de España en el área de Ciencias Experimentales y Tecnológicas.

# NANOFLUIDOS BASADOS EN NANOMATERIALES 2D.

Aguilar-Sánchez, T, Alcántara-Puerto, R, Gómez-Villarejo, R, Navas-Pineda, J.

Equipo de investigación Simulación, Caracterización y Evolución de Materiales, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

La transferencia de calor presenta muchas aplicaciones en la industria con el objetivo de incrementar o disminuir la temperatura. Recientes avances en nanotecnología han permitido el desarrollo de una nueva categoría de fluidos, denominados nanofluidos, que consisten en una dispersión coloidal de nanomateriales en un fluido base, mejorando las propiedades térmicas del mismo. De ahí que tengan un amplio rango de utilidades en industria, como en generación térmica, transporte de calor y microelectrónica.

Uno de los primeros estudios sobre nanofluidos mostró un 40% de mejora en la conductividad térmica de etilenglicol con una pequeña carga de Cu (0.3% vol.). Posteriormente, numerosos estudios teóricos y experimentales se han llevado a cabo sobre la conductividad térmica de nanofluidos empleando una gran variedad de nanomateriales tales

sados en nanomateriales 2D, los cuales debido a la morfología que presentan pueden generar suspensiones coloidales de buena estabilidad física, disminuyendo los procesos de aglomeración y sedimentación.

A su vez, muchos de estos materiales, como grafeno, nitruro de boro, o calcogenuros metálicos, muestran interesantes propiedades térmicas, como alta conductividad térmica, lo cual los hace especialmente interesantes para ser incorporados en suspensiones coloidales con aplicaciones en procesos de transferencia de calor.

Dentro del IMEYMAT se están desarrollando nanofluidos basados en calcogenuros metálicos, por ejemplo, usando  $\text{MoSe}_2$ . Mediante una técnica de exfoliación en fase líquida se consigue la formación de nanoláminas de  $\text{MoSe}_2$  en

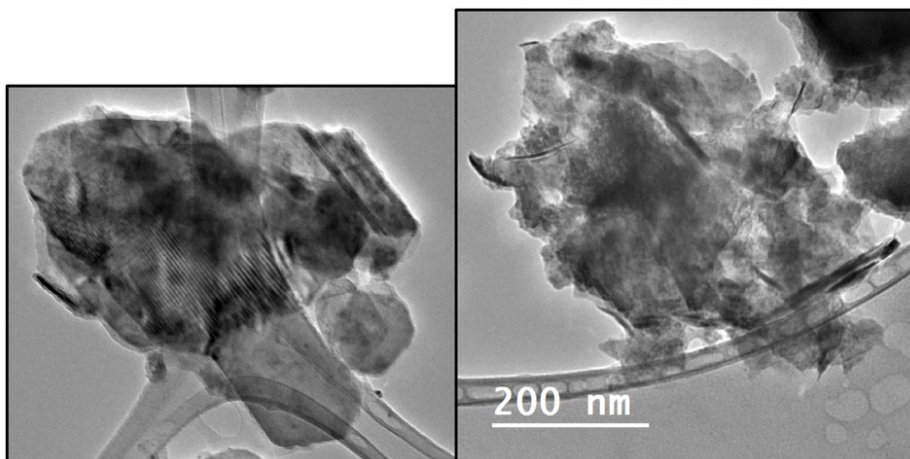


Figura 1. Imágenes de nanoláminas de  $\text{MoSe}_2$  obtenidas mediante microscopía electrónica de transmisión.

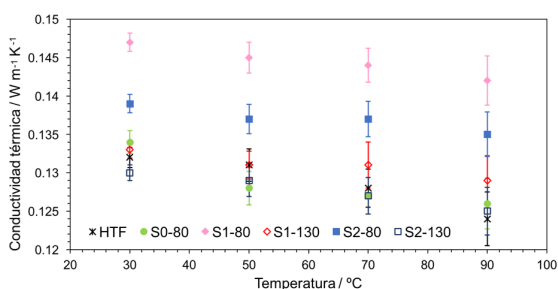
como metales (Cu, Ag, Au, Fe y Al), óxidos semiconductores ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{SnO}_2$ ), óxidos cerámicos ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}$  y  $\text{CeO}_2$ ), formas alotrópicas del carbono (nanotubos de carbono, nanodiamantes, grafeno o nanohojas de óxido de grafeno). A su vez, otro de los principales hitos a conseguir en este tipo de sistemas es obtener nanofluidos que sean estables en el tiempo, tanto desde un punto de vista químico como físico. En este sentido, una de las opciones que se plantean es la preparación de nanofluidos ba-

un fluido transferente de calor típicamente empleado en plantas de energía solar de concentración, que es la mezcla eutéctica de bifenilo y bifenil éter, tal y como se muestra en la Figura 1.

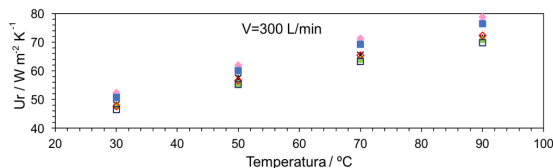
Así, se han preparado y analizados varios nanofluidos en diversas condiciones. Todos los nanofluidos son suspensiones coloidales de alta estabilidad y poseen propiedades térmicas mejoradas. La Figura 2 muestra valores de conducti-



*“estos nanofluidos son prometedores para su uso como fluidos transferentes de calor en diversos sectores industriales”*



**Figura 2.** Valores de conductividad térmica de los nanofluidos preparados.



**Figura 3.** Valores de  $U_r$ , que estima la eficiencia de los nanofluidos, para una velocidad de flujo de 300 L min<sup>-1</sup>.

vidad térmica, comparándolas con el fluido empleado, y se observan mejoras que alcanzan el 15%.

A su vez, es posible analizar la eficiencia de estos nanofluidos en aplicaciones reales considerando condiciones de operación y calculando diversos parámetros como el parámetro  $U_r$  que da idea de la producción de energía útil, que es inversamente proporcional a la pérdida de energía térmica, y por tanto ofrece información de la eficiencia de los nanofluidos, considerando diversas propiedades como conductividad térmica, capacidad calorífica, densidad y viscosidad. La Figura 3 muestra a valores de este parámetro

para los nanofluidos preparados comparando con un fluido transferente de calor típico (HTF) para una velocidad de flujo de 300 L min<sup>-1</sup>.

Por tanto, estos nanofluidos son prometedores para su uso como fluidos transferentes de calor en diversos sectores industriales.



El Dr. Javier Navas se licenció en Química en 1998 por la Universidad de Cádiz, donde también realizó su doctorado sobre materiales porosos en el Departamento de Química Física, en 2004. Desde 2007 es profesor en dicho departamento y realiza actividades de investigación sobre nanomateriales con aplicaciones en energía solar. Actualmente, trabaja en el diseño de nanomateriales avanzados para la preparación de nanofluidos con aplicaciones en energía solar de concentración. Así como en la caracterización y análisis de propiedades térmicas y ópticas desde un punto de vista experimental y teórico.

## CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL, COMPOSICIONAL Y PLASMÓNICA DE NANOPARTÍCULAS DE GALIO MEDIANTE HACES DE ELECTRONES.

De la Mata. M, Díaz. C, Molina. SI.

Equipo de investigación Materiales y Nanotecnología para la Innovación, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

La plasmónica se ha convertido en una rama de la fotónica con entidad propia, impulsando el estudio y desarrollo de sistemas ópticamente activos para el control y explotación de las interacciones luz-materia. La actividad plasmónica está ligada a la presencia de electrones libres en un material y su oscilación colectiva a frecuencias características, donde la nanoestructuración del material permite el confinamiento de dichas resonancias en las superficies del mismo (plasmones de superficie localizados). Estas resonancias colectivas de electrones modifican localmente el campo electromagnético en las inmediaciones de las nanoestructuras, fenómeno explotable en multitud de aplicaciones como biosensores, guías de onda, espectroscopía Raman amplificada de superficie (“surface-enhanced Raman Spectroscopy”, SERS), etc.

Los metales nobles (plata, oro) son los sistemas plasmónicos por antonomasia, cuyas frecuencias de oscilación características están restringidas al rango infrarrojo-visible (IR-VIS), limitando la aplicación de los dispositivos. Este escenario está impulsando la investigación de materiales alternativos que cubran distintos rangos espectrales; donde el galio emerge como candidato idóneo, que ofrece ventajas adicionales como su síntesis sencilla, rápida y barata en forma de nanopartículas.

El galio presenta un rico diagrama de fases con numerosos polimorfos metaestables, varios de los cuales han podido observarse en nanoestructuras, siendo un material que ofrece multitud de vías para modular la respuesta y propiedades finales del sistema. Además, puede sintetizarse en forma de nanopartículas por evaporación térmica, cuya exposición al aire resulta en la formación superficial de una fina capa de óxido ( $\text{GaO}_x$ ) que proporciona al sistema estabilidad estructural y química (pasivación superficial).

Es ampliamente conocido que, además de las propiedades intrínsecas del material, existen numerosas variables que modifican el comportamiento plasmónico de un sistema, tales como su tamaño, forma (anisotropía), composición, entorno (índice de refracción), proximidad de otros centros ópticamente activos, etc. Combinando el efecto de las variables extrínsecas sobre las propiedades ópticas con la idiosincrasia del galio, hacen de éste un sistema muy atractivo, no sólo por su vasto campo de aplicabilidad, sino como plataforma para generar conocimiento y un mejor entendimiento de las interacciones radiación-materia.

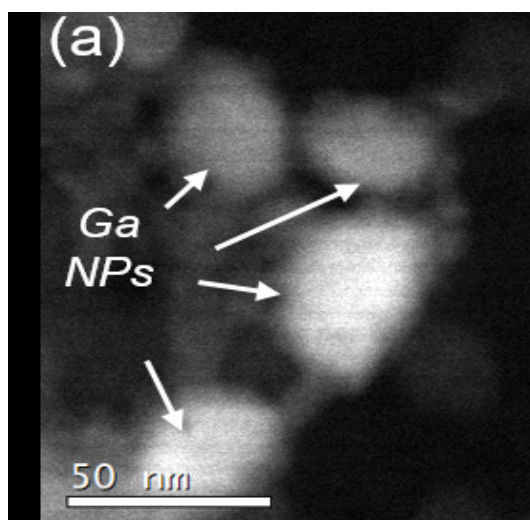


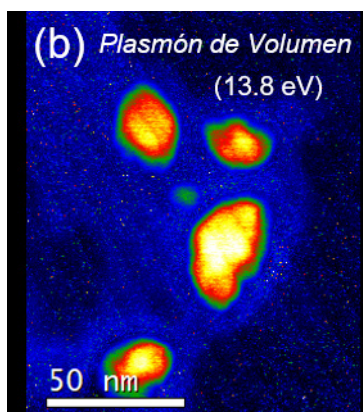
Figura 1. Nanopartículas (NPs) de galio.

*“la metodología planteada permite analizar interacciones entre partículas o las implicaciones de depositar/dispersar las nanopartículas en diversos medios”*

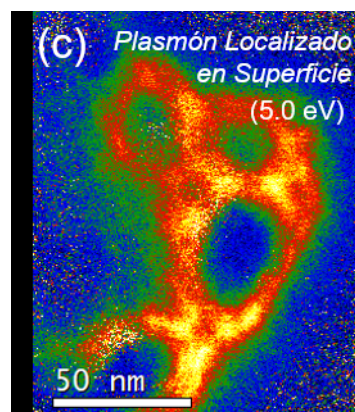
El proyecto planteado persigue explorar el comportamiento plasmónico de nanopartículas de galio a través de su caracterización intensiva empleando técnicas de microscopía electrónica. En la literatura, los estudios realizados sobre partículas aisladas o conjuntos de éstas para el caso concreto del galio son escasos y, hasta la fecha y nuestro conocimiento, no existen caracterizaciones ópticas reportadas sobre galio empleando espectroscopía de pérdida de energía de electrones (low-loss EELS), que permiten obtener mapas de la respuesta total (radiativa y no radiativa) del sistema tras ser excitado por el haz de electrones, con alta resolución espacial.

El desarrollo del proyecto nos ha permitido caracterizar en profundidad la morfología y composición de las nanopartículas sintetizadas como dispersiones coloidales y depositadas sobre varios sustratos. Además, hemos podido

acceder a las propiedades plasmónicas de NPs individuales y obtener mapas bidimensionales de la distribución espacial de los modos resonantes de plasmones localizados en la superficie de las mismas, revelando la presencia de múltiples modos resonantes en partículas individuales. El estudio se ha centrado en el análisis de las propiedades plasmónicas intrínsecas de las nanopartículas de galio, pero puede extenderse a sistemas más complejos derivados del mismo material ópticamente activo bajo distintas consideraciones. Por ejemplo, la metodología planteada permite analizar interacciones entre partículas o las implicaciones de depositar/dispersar las nanopartículas en diversos medios.



**Figura 2.** Mapas mostrando la distribución del plasmón de volumen, a 13.8 eV



**Figura 3.** Mapas mostrando la distribución del plasmón localizado en superficie, a 5.0 eV .



La Dra. María de la Mata se licenció en Química por la Universidad de Oviedo. Tras cursar estudios de Máster en Ciencia y Tecnología de Materiales en la Universidad Autónoma de Barcelona, realiza allí su tesis doctoral finalizada en 2015 y galardonada con el premio extraordinario de doctorado del departamento y con el premio a la mejor tesis doctoral de la Sociedad de Microscopía Española. Posteriormente, ha disfrutado de contratos posdoctorales en el ICN2, en la Universidad de Lund (Suecia) y en la Universidad de Cádiz, donde actualmente es investigadora Juan de la Cierva.



## SISTEMA DE FABRICACIÓN DE MATERIALES EN FORMA DE CAPAS DELGADAS DE ELEMENTOS, COMPUESTOS Y ALEACIONES MEDIANTE DEPOSICIÓN FÍSICA DE VAPOR (PVD).

Lloret-Vieira. F.

Equipo de investigación Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

La deposición física de vapor (PVD por sus siglas en inglés) es una de las técnicas más potentes para el crecimiento de capas delgadas y recubrimientos. Por estas siglas se entienden todas las técnicas de fabricación basadas en la deposición de materiales mediante procesos físicos. Es decir, el material a depositar (que puede ser uno, como el oro, o un compuesto, como el nitruro de aluminio) parten de un estado gaseoso elemental reactivo, ya sea por calentamiento o pulverización catódica, y se deposita para formar láminas en estado sólido, todo ello en una atmósfera de alto vacío. Estos procesos son puramente físicos, no siendo necesarias las reacciones químicas en la deposición.

Las aplicaciones de ésta técnica de fabricación son muy numerosas, siendo básica en industrias como la mecánica, óptica, electrónica y química. Ejemplos claros de su uso son la deposición de capas finas para paneles solares, la deposición de láminas de tereftalato de polietileno (PET) para el envasado de alimentos y globos, la deposición de máscaras para procesos de litografía, el recubrimiento de todo tipo de herramientas de corte o la deposición de cubiertas protectoras para multitud de fines.

Una de las grandes ventajas del PVD frente a otras técnicas de deposición es el gran número de materiales que permite depositar y su capacidad para ser utilizada sobre prácticamente cualquier tipo de superficie utilizando una amplia variedad de acabados.

El equipo adquirido en concreto consta de dos sistemas de deposición, uno de evaporación con cañón de electrones y otro de pulverización catódica magnetrón, usando una fuente

de radiofrecuencia. La deposición con cañón de electrones se trata de un sistema por el cual un haz de electrones incide sobre el blanco sólido del material a depositar, calentándolo y convirtiéndolo en fase vapor para su deposición. Por su parte, la pulverización catódica de magnetrón vaporiza el blanco sólido mediante la incidencia de iones cargados. La existencia de dos métodos diferentes de deposición dota al sistema de una gran versatilidad debido a la gran diversidad de materiales que pueden depositarse, desde metales con gran pureza hasta aleaciones complejas de óxidos y nitruros, incluso con la posibilidad de usar  $N_2$ ,  $O_2$  y Ar como gases reactivos, es decir, añadir gases directamente durante el proceso para depositar así óxidos o nitruros. El sistema consta además de una fuente calorífica para el calentamiento del sustrato durante la deposición hasta  $800^\circ C$  que facilita las reacciones químicas necesarias para, por ejemplo, la formación del óxido.

Las posibilidades del equipamiento lo hacen muy atractivo para un gran número de grupos y líneas del Instituto, cuyas actividades de investigación se ven claramente reforzadas con el uso de este instrumental. Entre las aplicaciones para los materiales a sintetizar en el contexto del proyecto se encuentran la fabricación de sistemas anti-reflectantes y filtros ópticos (con  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ , Si, ITO), sistemas termocrómicos ( $VO_2$ ), memristores ( $TiO_2$ ,  $VO_2$ ), contactos y aislantes en electrónica ( $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ , Ti, Pt, Au, Zr, ...), máscaras para fotolitografía (Al, Ni, ...), deposición granular-dieléctrico/dieléctrico, nanocomposites ferromagnéticos alternativos, etc. Se fabrican así series de capas, por una parte, densas homogéneas y heterogéneas (con nanopartículas o nanoca-

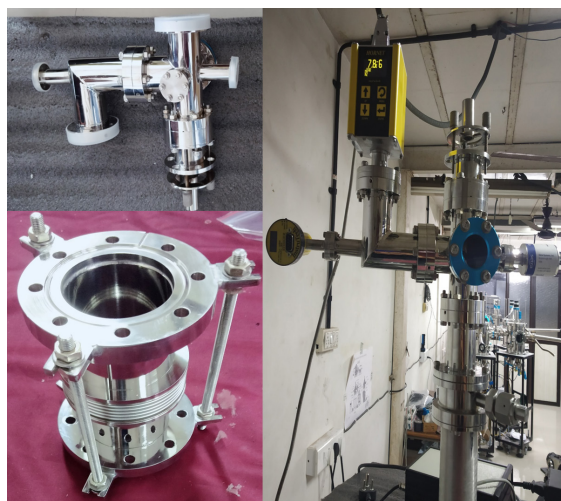


Figura 1. Partes del sistema MPCVD antes del montaje.

*“la deposición física de vapor es una de las técnicas más potentes para el crecimiento de capas delgadas y recubrimientos”*

pas integradas) usando un ángulo de deposición estándar perpendicular a la superficie del sustrato, y por otra parte con porosidad controlada mediante deposición con ángulo oblicuo o rasante (OAD-GLAD). Además, la alta conformabilidad de las técnicas PVD permite recubrir sustratos complejos fabricados mediante fabricación aditiva (impresión 3D) con el fin de mejorar su funcionalidad superficial.

En concreto, dentro de las líneas de investigación del instituto IMEYMAT, el sistema PVD es usado para:

- La deposición de películas delgadas de metales granulares formados por nanopartículas metálicas embebidas en una matriz dieléctrica para aplicaciones magneto-ópticas y plasmónicas.
- La fabricación de láminas delgadas de  $\text{TiO}_2$  dopadas con elementos metálicos para aplicaciones fotovoltaicas y fotocatalíticas (materiales de utilidad en aplicaciones tales como la fabricación de electrodos para pilas de combustible de óxido sólido (SOFC) y para sensores de oxígeno, en dispositivos de apantallamiento electromagnético, así como en dispositivos ópticos gracias a su elevada susceptibilidad no lineal de tercer orden).
- La deposición de capas delgadas de semiconductores amorfos y el desarrollo de nuevas capas funcionales que integran nanoestructuras para LEDs, tecnologías fotovoltaicas y plasmónicas.
- La fabricación de contactos en dispositivos electrónicos de potencia basados en diamante mediante deposiciones metálicas de Ti/Pt/Au (contacto óhmico) y de Zr/Pt/Au (contacto Schottky).
- El diseño y la caracterización de heteroestructuras III-V, y el desarrollo de nanoestructuras de In(Ga)N para aplicaciones en dispositivos opto- y micro-electrónicos.
- La síntesis y preparación de nanomateriales avanzados para su uso en energía solar.



Figura 2. Montaje final del sistema MPCVD.



El Dr. Fernando Lloret es licenciado en Física por la Universidad de Sevilla y Master en Ciencias y Tecnologías Químicas por la Universidad de Cádiz. Trabajó durante 3 años como investigador en la Foundation for Research and Technologies de Grecia. En 2017 se doctoró en Física con sobresaliente Cum Laude por la Universidad de Grenoble Alpes (Francia) y en Ciencias por la Universidad de Cádiz, la cual le otorgó el premio extraordinario de doctorado. Tras un contrato pos-doctoral en el IMEC de Bélgica regreso a la Universidad de Cádiz donde trabaja como Profesor Sustituto Interino.

## PUESTA A PUNTO DE UN REACTOR DE TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO Y DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE ENFRIAMIENTO SÚBITO PARA MATERIALES DE INTERÉS INDUSTRIAL.

Morales, F.M., García, R., Climent-Vera, A., Merino-Vigo, R.C., Perdigones, J., Santos, A., Lacroix, B.  
 Equipo de investigación Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

Este proyecto tenía como finalidad la ejecución de la puesta a punto de un reactor de tratamientos termoquímicos a presión atmosférica y a temperaturas muy elevadas para trabajar con minerales particulados de interés industrial, y otros materiales que pudiesen ser susceptibles de necesitar este tipo de procesamientos.

Para comprobar la utilidad de este prototipo desarrollado, nos encontramos en la fase de realización de pruebas de conceptos para validar la operatividad de éste, y analizar si se deben afrontar posibles mejoras. Las primeras pruebas con objeto de obtener derivados multifásicos de arena de sílice, sometida a ambientes cáusticos de distintas concentraciones, y aplicando rampas variables de calentamiento y enfriamiento, han sido realizadas con éxito. Los estudios planteados son una oportunidad de hacer investigación fundamental para el IMEYMAT, y tienen carácter de investigación aplicada porque suscitan el interés de socios industriales con los que el Instituto realiza colaboraciones. De hecho, durante el año 2019, han sido publicadas las resoluciones definitivas de dos proyectos industriales financiados por la Junta de Andalucía que harán uso del sistema desarrollado.

Los fondos financiados en 2018 a través del Plan Propio del IMEYMAT, en la modalidad de “líneas prioritarias”, sirvieron para costear parcialmente los gastos asociados a la fabricación y automatización de un reactor tubular de flujo discontinuo para tratamientos termoquímicos en estado sólido a presión atmosférica y temperaturas de hasta 1600°C. Este reactor consiste en un horno tubular, en cuyo interior se alberga un tubo cerámico de alúmina de gran pureza dispuesto en una posición fija, que hace las veces de termoreactor, que está ciego por un extremo (lado en el que se coloca el material a tratar durante el proceso) y abierto por el otro (extremo por el que se introduce y se descarga el material), y en cuyo interior se pueden controlar las condiciones de trabajo gracias a tres sistemas:

**Sistema de traslación en dos direcciones:** permite el movimiento del horno encendido y estabilizado con un perfil de temperaturas fijo previamente caracterizado. De esta forma, el horno se puede emplazar en la posición deseada, y así controlar la velocidad de enfriamiento o calentamiento de la masa de material dispuesta en el interior del reactor tubular de posición fija. Para ello se ha encastrado un husillo al cuerpo del horno, por el que pasa un tornillo sin fin acoplado a un motor en el que, gracias a un contador magnético de vueltas, se puede fijar la posición del horno con

una precisión de  $\pm 1$  mm en rangos de tiempos variables, con un límite de velocidad máxima de traslación de 1 cm/s. El control de la traslación se hace a través de un software programado para tal fin, para el que también se ha desarrollado una interfaz amigable en la que se pueden introducir muchos de los parámetros de operación.

**Sistema de rotación de velocidad variable:** permite controlar en ambos sentidos el movimiento rotatorio del tubo reactor cuyo cuerpo estaría dispuesto en mayor o menor extensión (dependiendo de la traslación realizada) dentro del horno tubular. De esta forma se controlarían las velocidades de calentamiento (desde rápidas hasta lentas) y las velocidades lentas de enfriamiento. El tubo reactor se hace

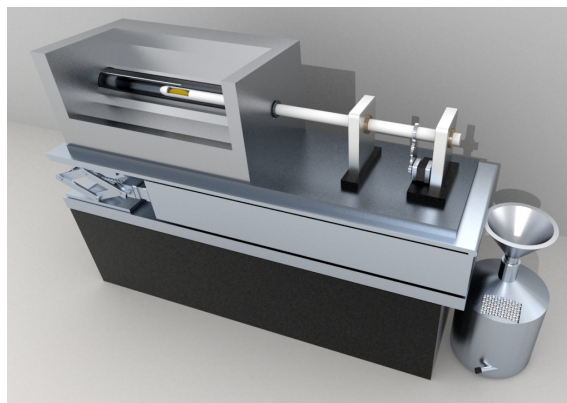


Figura 1. Prototipo teórico en diseño 3D del montaje final del reactor de tratamientos termoquímicos.

rotar por el extremo abierto mediante un sistema de cogida acoplado a engranajes helicoidales que son accionados por un motor paso a paso. El control del motor se lleva a cabo gracias al mencionado software e interfaz de desarrollos propios. Con la rotación se consigue que los materiales, que pudiesen ser por ejemplo particulados y preimpregnados con disoluciones de reactivos químicos, sean sometidos a tratamientos termoquímicos lo más homogéneos posibles en geometría y condiciones, así como facilitar por deslizamiento, la carga de los materiales al inicio del proceso, y la descarga de estos mismos en el momento final del tratamiento.

**Sistema de basculación del conjunto:** permite, si fuese necesario, la descarga rápida de la carga de material procesada en el reactor, con objeto de promover su bajada de temperatura de forma moderada o súbita. Para procurar posibles



*“este equipo se integrará en los Servicios Periféricos del IMEYMAT, y va a ser protagonista en dos proyectos industriales financiados en 2019 por la Junta de Andalucía”*

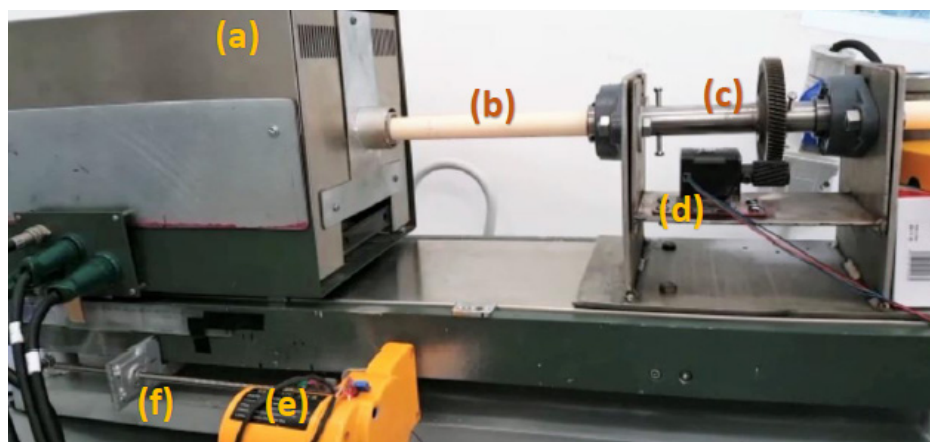
tipos de enfriamientos continuos o isotérmicos, el material estabilizado a una temperatura fija, podría verse sobre un habitáculo vacío de pared fría a condiciones atmosféricas o de presión variable (al aire, vacío, o presión), sobre contenedores de agua o aceites (temple húmedos), o sobre hornillos o recipientes que contengan metales o sales fundidos (temple prolongados, etc.).

Asociado a este equipamiento, se ha diseñado también un sistema para realizar enfriamientos muy rápidos del material sin la intervención de líquidos (temple secos). Se trataría de un enfriador tubular basado en el principio de lecho fluidizado, que recibiría el material caliente por una boca antiretorno lateral en forma de embudo, que refrigeraría el material con un ventilador de potencia variable en función de la masa a enfriar, y que proyectaría el aire caliente con posibles restos de gases subproductos o micropartículas en suspensión a una chimenea sellada a la que se le aplica extracción.

Se prevé a continuación construir el enfriador y realizar pruebas de concepto en el prototipo de tratamiento termoquímico, lo que abrirá la oportunidad de ofertar su

uso en forma de Servicio Periférico de Investigación de la Universidad de Cádiz, dando pie al comienzo de sinergias con compañeros del IMEYMAT que puedan necesitar del uso de este artefacto para hacer tratamientos termoquímicos o térmicos de sus materiales, posibilitándose un calentamiento variable hasta muy alta temperatura y el control de enfriamiento desde velocidades bajas hasta velocidades muy rápidas.

El primer reto científico tras haber concluido el desarrollo del prototipo es, gracias a este aparato, obtener derivados multifásicos de arena de sílice mezclada con distintas concentraciones de agente mineralizador, aplicando rampas variables de calentamiento y enfriamiento. El objetivo último del sistema desarrollado es poder contar con una planta piloto para emular y hacer variaciones experimentales de las condiciones industriales de tratamientos termoquímicos que aplican algunas compañías mineras, metalúrgicas, y de tecnologías de otros materiales para la obtención de arenas de alto valor añadido, cementos, aleaciones metálicas de propiedades avanzadas, polímeros o compuestos curados a velocidades variables, etc.



**Figura 2.** Montaje final del prototipo (a) cuerpo del horno; (b) tubo reactor de alúmina; (c) sistema de sujeción del tubo pasante compuesto por cilindro de acero sujeto a rodamientos en los extremos y solidario a un engranaje helicoidal; (d) motor paso a paso con engranaje en su eje para rotación programada; (e) motor para traslación programada con sensor cuenta vueltas; (f) husillo enroscado en macho. La fotografía está realizada desde la cara opuesta a la posición normal de trabajo del operario.



El Prof. Dr. Francisco M. Morales se doctoró con premio extraordinario en la Universidad de Cádiz en 2003, y hasta 2006 consiguió posiciones financiadas por la Fundación Alexander von Humboldt, la Sociedad Max Planck, y los Programas Marie Curie y Ramón y Cajal (1ª posición en Ciencia y Tecnología de los Materiales). En 2007 se habilita como PTU, y en 2014 se acredita como CU. Desde 2014 es en la UCA el Director del Instituto IMEYMAT, Responsable del “Laboratorio de Preparación de Muestras” de los SC-ICYT y Coordinador del Servicio Técnico Homologado “Materialografía”, y es Catedrático desde 2017.

# MONOLITOS *HONEYCOMB* PARA UNA QUÍMICA SOSTENIBLE.

Vidal-Muñoz. H.

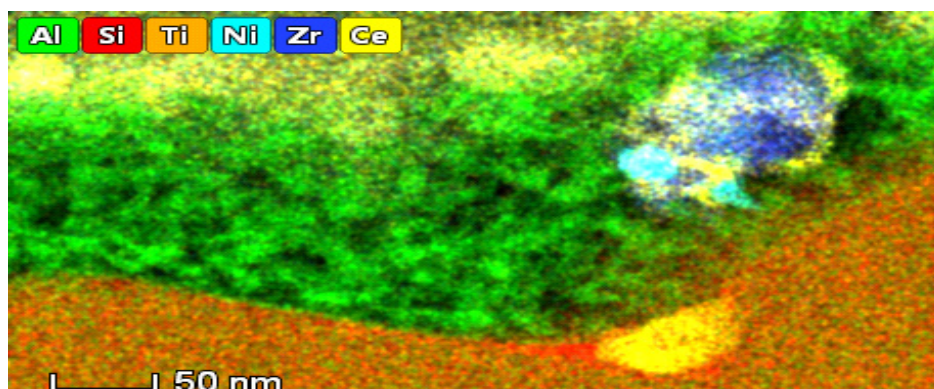
Equipo de investigación Química de Sólidos y Catálisis, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

La catálisis heterogénea es una de las principales herramientas para disminuir el consumo de materias primas en la industria química a través de un incremento en la selectividad de los procesos, y para reducir las emisiones de contaminantes al medioambiente. En este ámbito, los reactores estructurados y, en particular, los catalizadores monolíticos con forma de panal de abeja (honeycomb), ofrecen desde hace tiempo enormes ventajas respecto a los reactores convencionales de lecho empacado, siendo la más conocida su baja pérdida de carga al estar constituidos por múltiples canales abiertos al sentido del flujo. Además, permiten maximizar el contacto entre las fases catalíticamente activas (en estado sólido), depositadas sobre las paredes de dichos canales, y las moléculas de reactivos (en fase líquida o gas). Por último, al tratarse de estructuras unitarias son fácilmente manejables y reemplazables cuando se saturan o desactivan.

Hace ya casi medio siglo de las primeras aplicaciones de este tipo de catalizadores en el campo de la automoción y de las mayores industrias responsables de la contaminación atmosférica. No obstante, la investigación sobre el desarrollo optimizado de los mismos es un área de la ciencia que dista de estar agotada y admite claro espacio para la mejora. En este sentido, en este proyecto se propusieron 4 campos de actuación en los que el empleo de reactores monolíticos tipo honeycomb no se había explorado aun

suficientemente: 1) Monolitos de arcilla y carbón para el secuestro de CO<sub>2</sub> y su posterior conversión en productos de valor añadido; 2) Monolitos de arcilla para la eliminación de metales pesados en aguas residuales; 3) Monolitos cerámicos y metálicos como soporte de catalizadores a base de cobre para la oxidación preferencial de monóxido de carbono en presencia de hidrógeno (CO-PROX); y 4) Monolitos cerámicos y metálicos como soporte de catalizadores a base de níquel para el reformado seco de metano. Se pretendía evaluar el potencial de estos sistemas para que fueran una alternativa eficiente y competitiva a las tecnologías ya existentes en cada línea de investigación identificada como nuevo nicho de aplicación. Por ello el equipo de esta propuesta estuvo integrado por investigadores del IMEYMAT de hasta 4 áreas de conocimiento diferentes: Química Inorgánica, Química Analítica, Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Física de la Materia Condensada. Sólo así podía abordarse con garantías el reto que supone un problema multidisciplinar como el propuesto.

En relación con el objetivo 1, por primera vez se consiguieron preparar monolitos integrales de carbón con alta densidad de celda, comparables a los comerciales de cordierita, y con resistencia mecánica aceptable. Se exploró su interacción con el CO<sub>2</sub> mediante experimentos de adsorción volumétrica en estático a diferente temperatura y en dinámico, adsorción frente al tiempo, seguida por termogravimetría,



**Figura 1.** Mapa composicional obtenido mediante técnicas de microscopía electrónica avanzada (STEM-EDX) que muestra la distribución relativa de los componentes del catalizador y su interacción, responsable de su buen comportamiento.



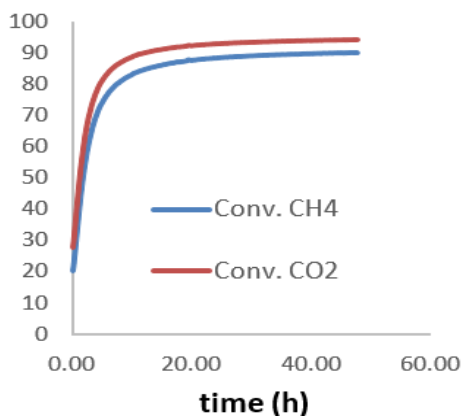
*“la catálisis heterogénea es una de las principales herramientas para reducir las emisiones de contaminantes al medioambiente”*

para ajustar los datos experimentales a modelos cinéticos de primer y segundo orden. Además, se estudió la fuerza de la interacción mediante desorción térmica programada del CO<sub>2</sub> retenido utilizando espectrometría de masas. Los resultados obtenidos hasta ahora son prometedores ya que evidencian una capacidad 10 veces superior, tras los adecuados tratamientos de preoxidación carbonización y activación, respecto a la medida con monolitos de arcilla. Estos resultados inspiraron un Trabajo de Fin de Grado y una comunicación reciente en la Reunión de la Sociedad Española de Catálisis (SECAT'19).

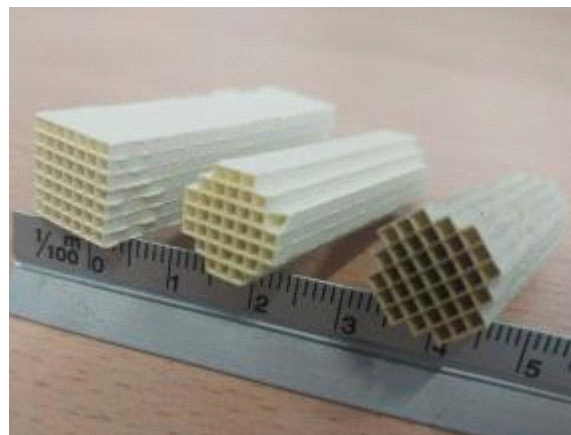
En lo que se refiere al segundo objetivo, se ha realizado una preparación y caracterización muy completa de monolitos obtenidos a partir de arcillas marroquíes, algunos de los cuales han dado resultados muy interesantes en la retención de plomo. Se han obtenido también algunos datos con cadmio y se está comenzando a trabajar también con níquel y molibdeno usando arcillas andaluzas de la Fundación Innovarcilla, en el contexto de otro Trabajo de Fin de Grado. Algunos de los resultados fueron difundidos también en el congreso SECAT'19.

En cuanto al tercer objetivo, se ha llevado a cabo una nueva preparación de un catalizador de cobre optimizado, así como su caracterización físico-química. Además, se ha realizado ya su deposición por técnicas de washcoating tanto sobre monolitos de arcilla previamente preparados en nuestro laboratorio como comerciales de cordierita. Justo ahora se está iniciando el estudio de la reacción CO-PROX.

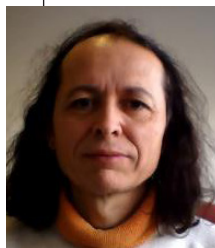
Por último, para el objetivo 4, eje central de una Tesis Doctoral en curso, se han preparado, caracterizado y aplicado con éxito catalizadores de Ni/CeZrO<sub>x</sub> monolíticos, tanto cerámicos como metálicos, algunos de los cuales han mostrado una excelente estabilidad en el tiempo, uno de los mayores desafíos en la reacción estudiada. Varios resultados se hicieron públicos ya en el Congreso Iberoamericano de Catálisis de Coimbra en 2018, y otros en septiembre en Alemania en la 6ª Conferencia Internacional de Reactores y Catalizadores Estructurados. También se han enviado dos artículos a revistas de alto índice de impacto (Applied Catalysis B y Chemical Communications).



**Figura 2.** Curvas que ilustran la elevada actividad y estabilidad de los catalizadores monolíticos honeycomb en la reacción de reformado seco de metano.



**Figura 3.** Ejemplo de catalizador monolítico honeycomb preparado por recubrimiento de soportes de cordierita con capas ultrafinas de Ni/Ce<sub>0.15</sub>Zr<sub>0.85</sub>O<sub>2</sub>.



El Dr. Hilario Vidal Muñoz se licenció en Química en 1989 por la Universidad de Cádiz, donde también realizó su doctorado. En 1997 llevó a cabo una estancia de un año con una beca TMR de la UE en la Università degli Studi di Trieste (Italia) donde trabajó en la caracterización química de óxidos mixtos de Ce-Zr como modelo de catalizadores TWC. Desde 1995 pertenece al grupo de Química de Sólidos y Catálisis donde lidera una línea de investigación enfocada en catalizadores estructurados con aplicaciones medioambientales. Es Catedrático de Química Inorgánica en la UCA desde 2017.

## ESTUDIO TEÓRICO DE LA ESTRUCTURA Y LA DINÁMICA DE UN NANOFLUIDO CON PARTÍCULAS DE CuO.

Torres-Ávila, E, Carrillo-Berdugo, I, Zorrilla-Cuenca, D.

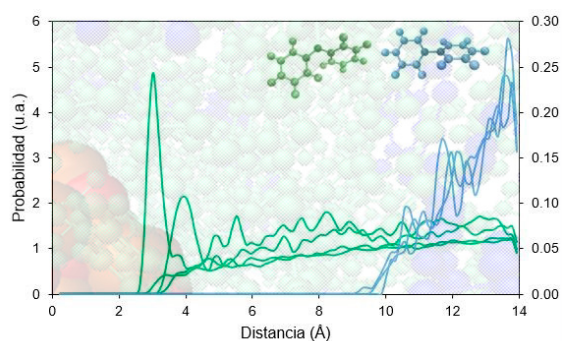
Equipo de investigación Simulación, Caracterización y Evolución de Materiales, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

Una gran parte de la energía que se produce actualmente se emplea a procesos de transferencia de calor cuya eficiencia se ha visto limitada en los últimos años. El desarrollo e investigación en el ámbito de la nanotecnología ofrece una posible solución a esta problemática mediante el uso de un nuevo tipo de fluidos para transferencia de calor: los nanofluidos. Éstos se definen como suspensiones coloidales de materiales nanoestructurados con unas propiedades térmicas que los hacen más efectivos que otros fluidos empleados convencionalmente como el agua, el etilenglicol o los aceites. Este tipo de fluidos encuentra un nicho de aplicación en la industria termosolar, en la que habitualmente se emplea un aceite térmico que destaca por ser no corrosivo, resistente a la degradación térmica y útil en estado líquido en un rango de temperaturas de operación de hasta 400°C, aunque presenta una muy baja conductividad térmica, lo que podría mejorarse con la adición de una mínima cantidad de nanopartículas. La aplicación directa de los nanofluidos podría suponer un impulso para mejorar la eficiencia de la conversión solar-térmica en las plantas de energía solar de concentración, de las que España es líder global en capacidad de producción energética.

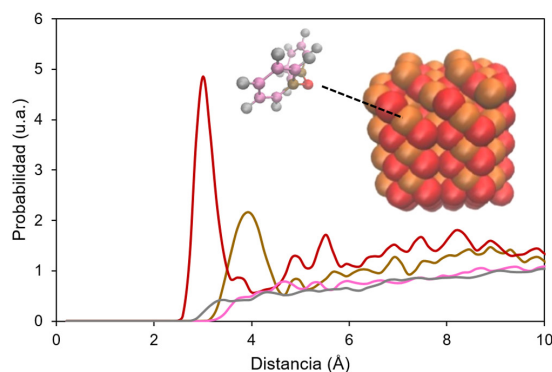
Desde hace algo más de veinte años se pueden encontrar numerosos estudios sobre nanofluidos a nivel experimental, pero son pocos aquellos que, en los fundamentos de la Química teórica, racionalicen el extraordinario cambio

en las propiedades termofísicas del fluido al adicionar una ínfima cantidad de sólido nanoparticulado. Es por ello que en este proyecto se ha realizado un estudio, en el nivel teórico de la Dinámica Molecular, de un nanofluido constituido por nanopartículas de óxido de cobre (II) dispersas en el aceite térmico comercial Dowtherm A (mezcla eutéctica de óxido de difenilo y bifenilo en proporciones 73,5% y 37,5%, respectivamente), típicamente empleado en la industria de energía solar de concentración. Este estudio ha aportado información microscópica acerca de la estructura molecular del sistema, así como resultados sobre la influencia de las nanopartículas en el comportamiento dinámico del sistema. La correcta modelización del sistema permite su uso como herramienta heurística y predictiva para el completo desarrollo de los nanofluidos en el laboratorio.

El primer paso para este estudio es la construcción de un modelo del sistema y la parametrización del campo de fuerza que mejor define las interacciones del conjunto. El modelo de la nanopartícula, con un diámetro de 1.6 nm, está constituido por 197 átomos y se diferencian las interacciones entre los átomos del bulk y la superficie. El modelo de fluido base se construye como un array tridimensional de moléculas de bifenilo y óxido de difenilo, con una geometría intramolecular de mínima energía; las interacciones intermoleculares fluido-fluido y fluido-nanopartículas vienen descritas por una energética de tipo Lennard-Jones.



**Figura 1.** Funciones de distribución radial de los átomos que constituyen las moléculas de óxido de difenilo (en verde) y las de bifenilo (en azul), respecto de los átomos de cobre en la superficie de la nanopartícula.



**Figura 2.** Función de distribución radial de los átomos de la molécula de óxido de difenilo, respecto de los átomos de cobre en la superficie de la nanopartícula. El primer pico indica que la interacción con la nanopartícula tiene lugar, preferentemente, con el átomo de oxígeno, a una distancia de equilibrio de 3.01 Å.

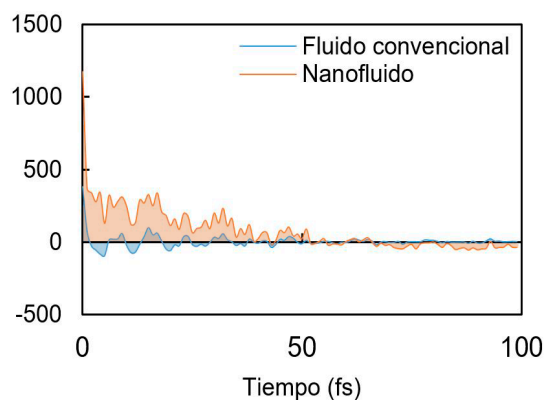
*“la aplicación directa de los nanofluidos podría suponer un impulso para mejorar la eficiencia de la conversión solar-térmica en las plantas de energía solar”*

La parametrización anterior será la que rijan los cálculos basados de Dinámica Molecular a desarrollar con el software LAMMPS (del inglés, Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator). Con el objeto de conseguir que el modelo teórico represente fielmente el sistema experimental, se han ejecutado baterías de simulaciones sobre el fluido base y se han comparado algunas de las propiedades computadas con las tabuladas para afinar los parámetros y así ‘calibrar’ el modelo. Una vez se considera que el modelo es válido, se realizan simulaciones del nanofluido para distintas condiciones de presión y temperatura y en las que se calculan los valores de densidad, calor específico isobárico, viscosidad dinámica y conductividad térmica. Además, se estudian también las funciones de distribución radial para reconocer cuál es la disposición más probable de las moléculas del fluido base en torno a la nanopartícula. Los datos obtenidos son tratados y analizados mediante el software apropiado.

Las funciones de distribución radial muestran que la interacción entre las moléculas de óxido de difenilo y la superficie de la partícula de óxido de cobre es preferente a la interacción de esta última con las moléculas de bifenilo (ver Figura 1). Además, se hace evidente que el acercamiento tiene lugar por el oxígeno frente a cualquiera de los otros átomos (ver Figura 2). Analizando los resultados de conductividad térmica, propiedad clave en la transferencia de calor, se concluye que el flujo de calor es notablemente superior para el sistema que contiene la nanopartícula (ver Figura 3), debido probablemente a que la propagación del calor por conducción es más eficaz al aumentar el recorrido libre medio de los fonones, que es mayor para sólidos que para líquidos.

A todos los efectos, podemos considerar que el proyecto ha cumplido con sus objetivos, ya que se ha conseguido estructurar un modelo teórico de un fluido caloportador

convencionalmente usado en la industria termosolar, introducir sobre este el material nanoparticulado y racionalizar los cambios inducidos, a nivel molecular, en su estructura interna y comportamiento. Este estudio contribuye en favor de una de las líneas de investigación del IMEYMAT para el desarrollo de nanofluidos, la cual ya ofrece numerosos estudios a nivel experimental. Las simulaciones teóricas complementan estos trabajos, estimando a priori si un material podría ser adecuado para esta aplicación o evaluar las propiedades en condiciones de alta temperatura que no son experimentalmente factibles con el equipamiento disponible.



**Figura 3.** Función de autocorrelación del flujo de calor (FAFC), para el fluido base (en azul) y el nanofluido (en naranja). La integral de esta función es directamente proporcional a la conductividad térmica del fluido. Se observa que la pérdida de correlación es más lenta en el caso del fluido que contiene la nanopartícula, lo que bajo integración supone una conductividad térmica mayor.



El Dr. David Zorrilla es Licenciado en Física Teórica por la Universidad Autónoma de Madrid, donde también cursó un Máster en Simulación Molecular. Se doctoró en Ciencias Químicas (Química Cuántica y Computacional) en la Universidad de Cádiz, donde es Profesor Titular de Universidad en el Depto. de Química Física desde 2017. Actualmente trabaja en el desarrollo de nuevas funciones de base para la simulación de efectos de confinamiento y en la simulación de nanofluidos aplicados a la industria termosolar.



## APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS VERDES A LA SÍNTESIS DE POLÍMEROS IMPRESOS MOLECULARMENTE.

Palacios-Santander, JM, García-Guzmán, JL, Cubillana-Aguilera, L, Bellido-Milla, D.

Equipo de investigación Instrumentación y Ciencias Ambientales, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

Imaginemos que estamos pescando en un barco con una red. Si la lanzamos al mar, todo pez que quede enredado en ella será capturado, independientemente del pez que sea. No obstante, imaginemos ahora que modificamos dicha red con un cebo especial que sólo capture doradas. Cuando lancemos la red al agua y la recojamos, la probabilidad de que la captura esté compuesta sólo por doradas será muy elevada. Ningún otro tipo de pez, o al menos una parte minoritaria de la captura, habrá quedado atrapado en ella. Podremos afirmar, por tanto, que tenemos una red de pesca exclusiva, específica o con una alta selectividad frente a las doradas, discriminando así al resto de especies marinas.

Ahora traslademos el símil al proyecto de investigación ECOMIPS. El objetivo principal de este proyecto consiste en el empleo de tecnologías verdes, como los ultrasonidos o las radiaciones microondas, para la síntesis de polímeros impresos molecularmente (MIPs), preferentemente magnéticos, con idea de utilizar dichos materiales para la determinación óptica y/o electroquímica de analitos de interés agroalimentario, biomédico y/o medioambiental. En el proyecto ECOMIPS, los MIPs constituyen nuestra 'red de captura', la cual hemos fabricado de forma específica y selectiva para un tipo de 'pez' determinado o especie química, denominada sulfametoxazol.

El modo en el cual se fabricó dicho MIP o 'red química' de gran selectividad se muestra en la Figura 1. Se parte de una molécula (monómero funcional: ácido metacrílico) que servirá para conformar la 'urdimbre de la red'; dicho monómero establece interacciones o enlaces químicos, generalmente débiles (el 'cebo'), del tipo: covalente reversible, electrostáticas, de Van der Waals o de coordinación, con la molécula que sirve de plantilla y que queremos determinar (la 'dorada': sulfametoxazol). Así, las conexiones establecidas tendrán una selectividad extraordinariamente elevada. Para terminar de fabricar la 'red', se requiere, además, un polímero entrecruzador (etilenglicol dimetacrilato), que constituirá la 'trama de la red', así como un disolvente en el que tenga lugar la reacción de polimerización (dimetilsulfóxido) y otra especie química, en este caso muy oxidante, denominada iniciador (persulfato amónico), que es la que desencadena la reacción y permite generar el MIP. Finalmente, cuando el MIP está ya sintetizado, se elimina la molécula plantilla mediante la inmersión del MIP en una mezcla de ácido acético:etanol. Por último, para que la 'red química' sea funcional, el proceso de impresión se ha debido realizar sobre nanopartículas magnéticas de  $Fe_3O_4$  (MNPs) que actúan como núcleo-soporte del MIP (el barco pesquero), el cual se ubica alrededor de las mismas como una cubierta. Por tanto, se dispone de MIPs magnéticos fácilmente separables del medio mediante un imán.

Como ya se ha indicado, el 'pez' (la dorada) que se pretendía determinar en este proyecto, es el sulfametoxazol, un tipo de sulfonamida empleada como antibiótico en medicina y en veterinaria debido a su elevada eficiencia antimicrobiana. No obstante, esta sustancia presenta un grave problema: su descontrolado uso a nivel mundial ha provocado la liberación masiva de dicho antibiótico en el medioambiente. Debido a ello y a su baja biodegradabilidad, actualmente se le considera un contaminante emergente (sustancia que apare-

ce a muy baja concentración e indetectable, por la tecnología existente, hasta hace poco tiempo), cuya persistencia supone un riesgo elevado para la proliferación de cepas bacterianas resistentes a dicho antibiótico, con el consiguiente riesgo para la salud humana.

La principal novedad que presenta esta investigación es la forma en cómo se han fabricado los MIPs. Para ello se han empleado ultrasonidos de alta energía, los cuales han sido aplicados mediante una sonda. Esta tecnología presenta un gran número de ventajas, que la hacen muy útil en procesos de síntesis basados en Química Verde: i) es una técnica ecológica o verde, respetuosa con el medio ambiente; ii) como la energía aplicada se encuentra muy focalizada, a diferencia de los baños de ultrasonidos, los requerimientos energéticos para los procesos de síntesis reducen de manera significativa; iii) el tiempo empleado para la síntesis es muy pequeño: se consigue reducir desde días u horas, hasta minutos o incluso segundos; iv) la instrumentación necesaria es muy sencilla; y v) el coste asociado a su adquisición es también bastante reducido en comparación con otras metodologías. Según la bibliografía, ésta es la primera vez que se aplica esta tecnología para fabricar MIPs magnéticos de manera rápida y sencilla. En este trabajo, ha sido posible sintetizar varios gramos de MIP magnético en 7,5 minutos, consumiendo menos de 5 kcal (100 g de pepino aportan 12 kcal, menos de 3 veces la energía necesaria para esta síntesis), en comparación con los varios centenares de kcal que se aplican en el método tradicional: calentamiento a reflujo durante 2 h a 65°C. A partir de estos números, es evidente el enorme interés, desde el punto de vista de la síntesis y del ahorro energético, que supone dicho procedimiento de fabricación de los MIPs magnéticos mediante sonda de ultrasonidos de alta energía.

Hay que destacar que para optimizar la síntesis fue necesario probar diferentes tiempos de reacción y de energía aplicada. Además, el MIP magnético optimizado se comparó con el MIP magnético sintetizado de forma tradicional.

Los materiales obtenidos se caracterizaron mediante diversas técnicas instrumentales con el fin de averiguar: si el MIP se había fijado bien sobre las MNPs durante la síntesis (FTIR); la distribución de tamaños y el tamaño medio de los MIPs

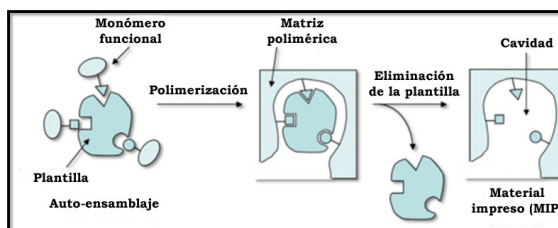


Figura 1. Esquema general de fabricación de un polímero impreso molecularmente o MIP.

*“esta tecnología presenta un gran número de ventajas, que la hacen útil en procesos de síntesis basados en la Química Verde”*

magnéticos (70-80 nm de diámetro, con morfología esférica; STEM y DLS); la composición de la fase cristalina (MNPs; DRX); y si las MNPs mantenían su magnetismo tras el recubrimiento por los MIPs (VSM).

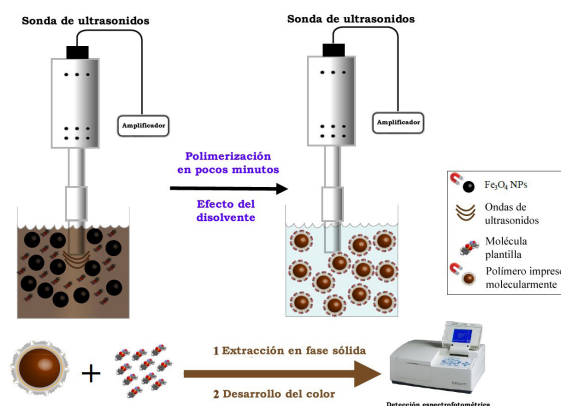
Los MIPs magnéticos o ‘redes químicas’ obtenidas fueron utilizadas para ‘pescar’ o determinar sulfametoxazol. La eficiencia de los MIPs sintetizados por sonda de ultrasonidos de alta energía fue comparada con la de los MIPs magnéticos clásicos. Para ello se emplearon los MIPs magnéticos como método de extracción en fase sólida y, posteriormente, se utilizó una técnica electroanalítica, la voltamperometría diferencial de impulsos, para determinar la cantidad de sustancia no adsorbida por los MIPs. Como conclusión principal de este estudio hay que resaltar que la capacidad de adsorción y de funcionamiento del nuevo material es superior a la del MIP clásico. Es decir, con los ultrasonidos de alta energía aplicados con la sonda, se obtienen ‘redes’ más eficientes, que ‘pescan’ más ‘peces’ que las ‘redes’ clásicas. Este hecho mejora de significativamente los parámetros analíticos de calidad de los MIPs magnéticos cuando se emplean en el análisis (sensores químicos). Así, se pueden detectar cantidades muy bajas de estos contaminantes emergentes medioambientales con un método de análisis reproducible y fiable, cuya aplicación puede extenderse a cualquier otro contaminante. Es más, cuando se compara la selectividad de la ‘red’ en presencia de otros ‘peces’ (especies químicas de la misma familia con una estructura química similar a la del sulfametoxazol), los MIPs magnéticos sintetizados en este trabajo, presentan una selectividad y especificidad mucho más elevada que los MIPs clásicos, con independencia del tiempo de extracción. Este resultado es muy interesante, ya que en sólo 10 min, se puede extraer el sulfametoxazol de una mezcla de sulfonamidas con gran eficacia y sin interferencias.

Por otra parte, también se ha llevado a cabo un estudio del efecto que produce el tipo de disolvente durante el proceso de síntesis de los MIPs magnéticos, ya que el disolvente actúa como generador de poros en la ‘red’, afectando crucial y dramáticamente a su reactividad y a la cantidad final de MIP sintetizado. Además del dimetilsulfóxido, empleado para comparar, en este trabajo se han sintetizado MIPs magnéticos empleando otros disolventes: dimetilformamida, etanol, acetonitrilo y acetona. Se empleó de nuevo una sonda de ultrasonidos de alta energía y los otros reactivos necesarios para la síntesis fueron idénticos a los ya comentados.

Como resultado fundamental de este estudio, se concluyó que la polimerización no se alcanzaba cuando se utilizaba acetonitrilo o acetona como disolvente. En cambio, con los otros disolventes, se obtuvieron MIPs magnéticos con un buen rendimiento. Los materiales resultantes fueron carac-

terizados del mismo modo que antes. No obstante, los estudios de capacidad de adsorción y de empleo de los MIPs para la determinación analítica de sulfametoxazol fueron más exhaustivos que en el caso anterior. Así, se llevaron a cabo estudios cinéticos de adsorción, se probaron diferentes modelos de ajuste para las isothermas de adsorción, obteniendo mejores resultados con las isothermas de Freundlich, se estudió la selectividad frente a sustancias también de estructura química similar (sulfacetamida, sulfadiazina y sulfamerazina) y, además, se determinaron los parámetros analíticos de calidad del método (Figura 2), utilizando los MIPs magnéticos como etapa de extracción y preconcentración del analito y la espectrofotometría UV/Vis como técnica de cuantificación. De este modo, se obtuvieron los siguientes valores optimizados: rango lineal (0,2 - 5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), sensibilidad (0,137  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , con un  $R^2 = 0,997$ ), límite de detección (0,06  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ), límite de cuantificación (0,2  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) y reutilización de los MIPs magnéticos (>8 veces). El método se validó en agua del grifo y agua de mar fortificadas con sulfametoxazol, obteniendo valores de recuperación medios bastante buenos, rondando el 90%.

Los resultados de ambos tipos de experimentos se han publicado en la revista científica de alto impacto internacional indexada en JCR: Ultrasonics Sonochemistry, 1ª en la categoría Acoustics (1/31) y de primer cuartil en la categoría Chemistry, multidisciplinar (25/172), con un factor de impacto de 7,279 (2018).



**Figura 2.** Esquema de síntesis de un MIP magnético y del método en dos etapas empleado para la determinación del sulfametoxazol: 1) etapa de extracción/preconcentración y 2) etapa de desarrollo del color y posterior determinación mediante espectrofotometría UV/Vis.



El Dr. José María Palacios Santander se doctoró en 2003 en la Universidad de Cádiz con una Tesis Doctoral con Mención Internacional y Premio Extraordinario de Doctorado. Obtuvo una beca ‘José Castillejo’ en 2008 y colabora con varios grupos de investigación a nivel nacional e internacional (Marruecos, Italia, Rumanía, Cuba, etc.). Es Profesor Titular de Universidad desde 2017 e IP del grupo de investigación FQM-249: ‘Instrumentación y Ciencias Ambientales’ desde 2018, desempeñando sus labores docentes, investigadoras y de gestión en el Dpto. de Química Analítica de la UCA.

# PREPARACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LÁMINAS DELGADAS DE ÓXIDO DE VANADIO OBTENIDAS POR VIA SOL-GEL Y RECUBRIMIENTO POR INMERSIÓN.

Domínguez-de-la-Vega. M, Aguinaco-Martín. A, Bakkali. H, Blanco-Ollero. E, González-Leal. JM, Litrán-Ramos. R, Mánuel-Delgado. JM, Ramírez-del-Solar. M.

Equipo de investigación Magnetismo y Óptica Aplicados, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

El dióxido de vanadio es un material termocrómico de alto interés tecnológico debido a que presenta una abrupta transición aislante-metal (MIT) en torno a una temperatura crítica  $T_c = 68^\circ\text{C}$  debida, por otro lado, a un importante cambio de su estructura cristalina (monoclínica en el estado aislante de baja temperatura, de tipo rutilo en el estado metálico de alta temperatura). La principal consecuencia de esta transición es un notable descenso en la transmisión óptica del material, especialmente en el rango infrarrojo, aunque otras características como la conductividad eléctrica también se ven afectadas. Esto lo hace un material de especial importancia en aplicaciones relacionadas con el ahorro energético como apoyo para sistemas de aire acondicionado para edificios, pues permite desarrollar los recubrimientos de las denominadas “ventanas inteligentes” (Fig. 1), capaces de reducir el paso de la radiación infrarroja cuando se eleva la temperatura ambiente sin afectar en exceso a la transparencia de las ventanas en otras longitudes de onda del rango visible. En cambio, cuando la temperatura desciende y resulta conveniente que el calor del exterior penetre de nuevo en el edificio, la ventana inteligente vuelve a ser perfectamente transparente en el rango infrarrojo, ayudando así doblemente al sistema de acondicionamiento de aire y permitiendo una considerable reducción del gasto energético global del sistema.

La vía sol-gel combinada con el recubrimiento por inmersión (dip coating) de láminas delgadas basadas en  $\text{VO}_2$ , están siendo objeto de un creciente interés en los últimos años debido al amplio rango de morfologías y características superficiales que permiten desarrollar, así como a la relativa simplicidad y bajo coste de las técnicas implicadas, junto con la facilidad de escalado que presentan, especialmente en comparación con otras técnicas de deposición físicas más complejas y caras (la deposición por pulverización catódica, por ejemplo).

Para la síntesis del sol precursor del gel que formará las láminas delgadas se abordaron diferentes estrategias, pero finalmente se optó por la vía consistente en la hidrólisis de un alcóxido de  $\text{V}^{4+}$ .

La experiencia en la preparación de láminas similares de  $\text{TiO}_2$ , sugería la reducción de la reactividad del elemento mediante un agente quelatante, como acetil-acetona, que favorece una hidrólisis más controlada evitando la floculación de los agregados formados. De este modo, para la preparación de un sol estable, se ha optado por utilizar el alcóxido de vanadio  $\text{VO}(\text{acac})_2$ , en el que el complejo ya está formado y los ligandos bidentados aumentan la coordinación del vanadio, pudiendo mejorar la adherencia entre capas sucesivamente depositadas.

Se han analizado en la preparación de las láminas distintos parámetros como:

- Concentración del alcóxido en el sol.
- Dosis de ultrasonidos de alta potencia para promover la hidrólisis.
- Tiempo de envejecimiento del sol.
- Tipo de soporte utilizado (vidrio, borofloat, cuarzo).
- Temperatura de secado de las láminas.
- Temperatura y atmósfera del tratamiento térmico de consolidación

Los mejores resultados se han obtenido con soles sintetizados con una concentración de alcóxido 0,125 M, activado durante 2-5 min con ultrasonidos de alta potencia que, tras un envejecimiento de 48 h, se usaron para depositar láminas mediante recubrimiento por inmersión sobre borofloat o cuarzo. La temperatura de secado no parece ser tan crítica como la de tratamiento térmico ( $550^\circ\text{C}$ ) y su atmósfera. Debido a la débil resistencia a la oxidación de estas láminas, para obtener un efecto termocrómico apreciable, fue necesario usar una atmósfera reductora ( $5\% \text{H}_2/\text{N}_2$ ).

Las láminas de  $\text{VO}_2$  así obtenidas se han caracterizado mediante diferentes técnicas experimentales (AFM, espectroscopía Raman, elipsometría, XPS y microscopía electrónica), y presentan una buena estabilidad mecánica y calidad óptica. A modo de ejemplo, la Fig. 2 muestra la imagen AFM de la superficie de estas láminas, donde se aprecia su textura granular homogénea y su baja rugosidad superficial.

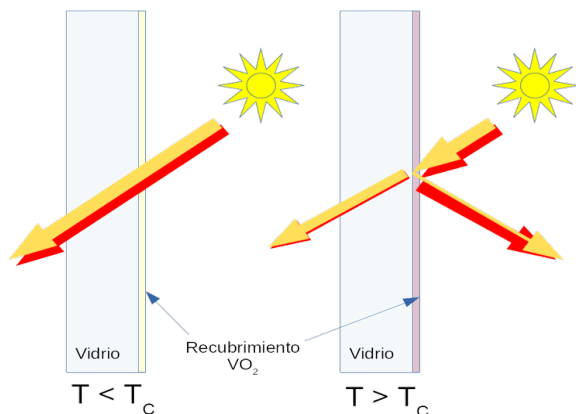


Figura 1. Efecto termocrómico del  $\text{VO}_2$  y su utilidad para el desarrollo de ventanas inteligentes.

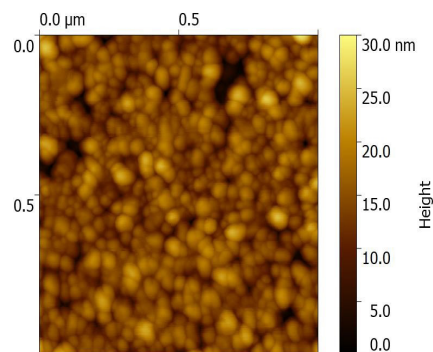
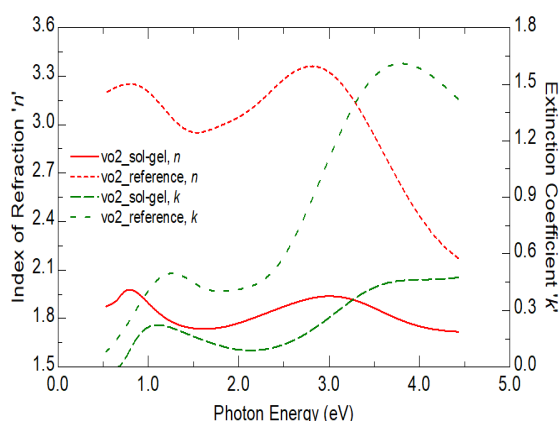


Figura 2. Imagen AFM de una lámina delgada de  $\text{VO}_2$ .



*“mediante un sistema de medida construido en nuestro laboratorio, se determinó la rotación Faraday en función del campo magnético aplicado de las diversas láminas preparadas”*

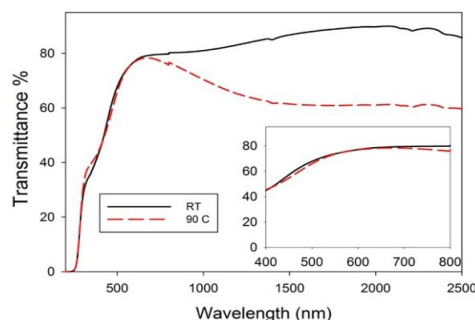
Por otro lado, la Fig. 3 muestra las constantes ópticas (índice de refracción,  $n$ , y coeficiente de extinción,  $k$ ) obtenidas por elipsometría de una de las láminas obtenidas. La buena correlación de los perfiles de ambas constantes con las referencias correspondientes de VO<sub>2</sub> nos permite identificar la presencia inequívoca de esta fase en las láminas fabricadas.



**Figura 3.** Constantes ópticas de una lámina de VO<sub>2</sub> preparada comparadas con las de la referencia correspondiente esta fase.

Por último, el resultado más relevante se presenta en la Figura 4, donde se comparan los espectros de transmitancia obtenidos a temperatura ambiente y a 90°C (es decir, por encima de la temperatura de transición). Para la realización de estos experimentos, se ha desarrollado un accesorio basado en una placa Arduino y programado en LabView para el espectrofotómetro UV-Vis-NIR, que permite el calentamiento controlado de las láminas mientras se obtiene su espectro de transmitancia.

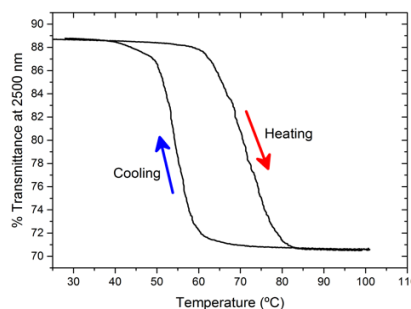
De esta figura se deduce una reducción de transmitancia superior al 25% en el rango infrarrojo (alrededor de 2000 nm), al calentar por encima de su temperatura de transición, mientras que la transmitancia apenas varía en el rango visible.



**Figura 4.** Espectros de transmitancia de una lámina de VO<sub>2</sub> a temperatura ambiente y a 90°C

Por otro lado, se ha obtenido también la variación de la transmitancia a 2500 nm con la temperatura (Fig. 5). La lámina de VO<sub>2</sub> fabricada muestra el típico comportamiento histerético propio de este material, de manera que la temperatura de MIT es aproximadamente 68°C al calentar la lámina (la prevista para este material), mientras que la transición se produce a menor temperatura (55°C) durante el enfriamiento.

En conclusión, se han preparado recubrimientos de VO<sub>2</sub> que muestran un efecto termocrómico apreciable, con una alta transmitancia en el rango visible, que se mantiene prácticamente inalterada en todo el rango de temperatura analizado.



**Figura 5.** Transmitancia de una lámina de VO<sub>2</sub> a 2500 nm durante el proceso de calentamiento y enfriamiento entre temperatura ambiente y 100°C.



El Dr. Manuel Domínguez de la Vega se licenció en Química en 1985 por la Universidad de Cádiz. Tras este periodo trabajó en Saginaw/Delco y Tioxide en el departamento de I+D. A finales de 1991 regresó a la Universidad de Cádiz para retomar una Tesis Doctoral que defendió en 1993. En 1995 formó parte de Departamento del Física de la Universidad de Maryland donde se familiarizo con las técnicas y materiales que más usa en la actualidad. En 1997 tomó posesión como Profesor Titular de Universidad en la UCA, donde es responsable del grupo “Magnetismo y Óptica Aplicados”.

## BIORRECUPERACIÓN DEL METAL EN CATALIZADORES Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MEDIANTE SISTEMAS TIOSULFATO-COBRE-AMONIACO (BIORE-Pd)

Yeste-Sigüenza. MP, Cauqui-López. MA.

Equipo de investigación Química de Sólidos y Catalisis, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

Los catalizadores de tres vías son sistemas capaces de disminuir las emisiones de los gases contaminantes del escape de los vehículos de gasolina (CO, HC, NOx); es decir, tienen la capacidad de transformar los hidrocarburos residuales, en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, y de reducir los óxidos de nitrógeno en sus componentes básicos: N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>. Están constituidos por un monolito cerámico o metálico recubierto por una capa de gamma alúmina, sobre la que se deposita un óxido mixto de cerio y zirconio y finalmente sobre la superficie del óxido mixto metales preciosos finamente dispersos como platino, paladio o rodio. La desactivación de un catalizador de automóvil depende principalmente de las condiciones de operación y la presencia de venenos como fósforo, calcio, zinc y azufre que se encuentran en los aditivos añadidos a la gasolina y aceites del motor

haciendo que la vida útil de catalizador esté sobre los 120.000 km.

Con respecto al paladio, el suministro de paladio está muy geolocalizado, ya que el 80% de la producción mundial de paladio se encuentra en Rusia, país que en el pasado ya ha restringido el suministro de una serie de recursos naturales considerados valiosos y estratégicos como el gas natural. Por otro lado, la extracción del paladio (y otros metales preciosos) de las minas implican procesos hidrometalúrgicos que utilizan agentes altamente agresivos y corrosivos, además de producir grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos. Es por ello que es de gran importancia el reciclado de paladio en los catalizadores de tres vías. Los dos principales métodos físico-químicos

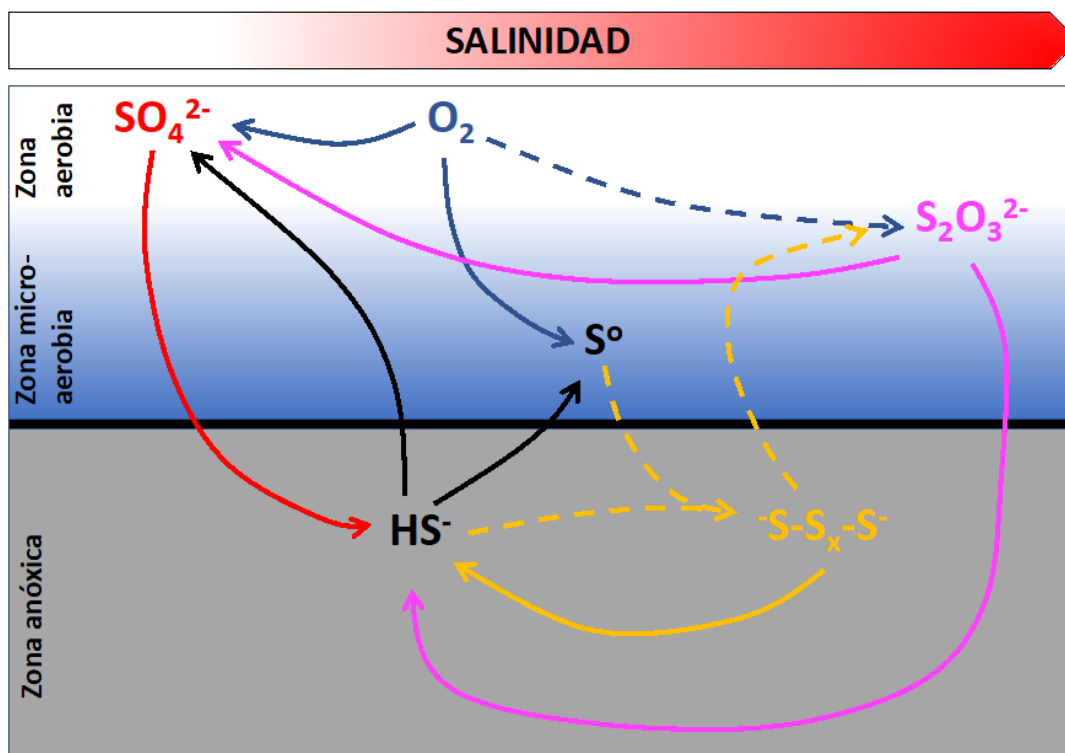


Figura 1. Proceso de formación de tiosulfato: las líneas discontinuas indican las reacciones abióticas y las líneas continuas muestran las conversiones microbianas

*“Los ensayos realizados con tiosulfato químico y producido biológicamente fueron similares con una recuperación del 4.2% del paladio.”*

para la recuperación de metales de catalizadores son los procesos hidrometalúrgicos (recuperación de metales con medios ácidos o básicos) y pirometalúrgicos (mediante calor). Estos métodos tienen la principal desventaja de consumir una gran cantidad de energía y de provocar una alta contaminación ambiental. Como alternativa a estos procesos están los procesos de biolixiviación, los cuales son considerados como una tecnología verde (respetuosos con el medio ambiente), de bajo coste y con un bajo requerimiento energético.

Con respecto a la recuperación de metales preciosos mediante biolixiviación, las publicaciones relativas a la recuperación de metales del grupo del platino por métodos biológicos son muy escasas y relacionadas exclusivamente con la producción de cianuro biogénico. No obstante, a

pesar de usar microorganismos, se produce cianuro con la misma problemática de toxicidad y riesgos de contaminación ambiental que los procesos químicos. Para la recuperación de metales del grupo del platino, los lixiviantes químicos alternativos al cianuro y considerados como no convencionales son sistemas que emplean tiosulfato. Aunque hasta el momento hay muy pocos trabajos que emplean tiosulfato, la lixivianción con tiosulfato es llevada a cabo en condiciones alcalinas utilizando cobre y amoníaco. El tiosulfato establece a través del átomo de azufre terminal un fuerte enlace con el ión metálico, dando lugar a complejos insolubles. Por tanto, se planteó el uso del sistema tiosulfato-cobre-amoniaco para la recuperación de Pd de catalizadores Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Se empleó tiosulfato químico y generado por bacterias quimioautotróficas haloalcalófilas azufre-oxidantes aisladas de un biorreactor de desulfuración de biogás. La figura 1 muestra el biorreactor empleado para la producción de tiosulfato biológico, se trata de un biorreactor air-lift el cual es agitado por la alimentación del biogás. En este sistema se ha llegado a alcanzar un máximo de 67 mM de tiosulfato, por lo que será necesario continuar estudiando las condiciones de cultivo para aumentar dicha concentración.

Los ensayos realizados con tiosulfato químico y producido biológicamente fueron similares con una recuperación del 4,2% del paladio. Este resultado es aún muy bajo pero muestra la viabilidad del proceso, por lo que continuaremos investigando para encontrar las condiciones óptimas de operación que permitan una alta recuperación de paladio.

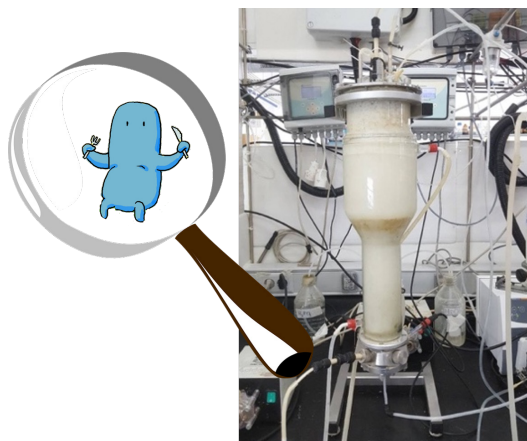


Figura 2. Biorreactor Air-lif



La Dra. Pilar Yeste Sigüenza es Licenciada en Química por la Universidad de Cádiz, realizó la tesis doctoral estudiando la optimización de los catalizadores en los motores de gasolina para que produzcan menos especies contaminantes, tras esto estuvo trabajando en un proyecto conjunto con la empresa Egmasa para el aprovechamiento del biogás de los vertederos. ha completado su formación con cursos y Congresos en Italia, Inglaterra y Francia. Actualmente es Profesora Sustituta Interina en la Universidad de Cádiz.



## ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN COMPOSICIONAL EN SUPERREDES DE InAsBi/InAs SOBRE InAs PARA FOTODETECTORES EN EL INFRARROJO LEJANO.

Fernández-de-los-Reyes, D., Ben-Fernández, T., Braza-Blanco, V., Flores-Gallego, S., González-Robledo, D. Equipo de investigación Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Instituto IMEYMAT, Universidad de Cádiz.

Desde hace varias décadas, los semiconductores III-V han sido ampliamente investigados debido a sus excelentes propiedades electrónicas y optoelectrónicas. Después del estudio exhaustivo de otros compuestos III-V, el elemento restante del grupo V, el bismuto, ha comenzado a recibir una atención creciente. De hecho, las aleaciones de GaAsBi ya se han usado para formar la región activa en estructuras emisoras de luz tales como LED y láseres bombeados ópticamente. Sin embargo, la incorporación de Bi en InAs no se ha investigado hasta hace muy poco tiempo. Ciertamente, parece que la adición de una pequeña cantidad de Bi en InAs causa una gran reducción de la banda prohibida, haciendo esta aleación muy útil para desarrollar nuevas fuentes de luz y fotodetectores que operan en el rango de longitud de onda de infrarrojo medio y lejano (3-30  $\mu\text{m}$ ). Además, este compuesto comprende componentes semi-

conductores y semimetálicos y, debido a eso, se espera que posea un espacio de banda insensible a la temperatura.

Todas estas características hacen del InAsBi un compuesto prometedor en el desarrollo de posibles aplicaciones en el campo de la ingeniería de bandas, compensación de tensión e integración optoelectrónica. No obstante, el bismuto tiene varios problemas para ser incorporado en este tipo de aleaciones, debido a una brecha de miscibilidad extremadamente grande y una solubilidad sólida de equilibrio muy pequeña (menos de 0,025%). Por lo tanto, el crecimiento de aleaciones de bismuto diluidos ha estado históricamente plagado por la segregación superficial del bismuto, lo que resulta en la formación de gotas, separación de fases y/o la formación de un ordenamiento extra.

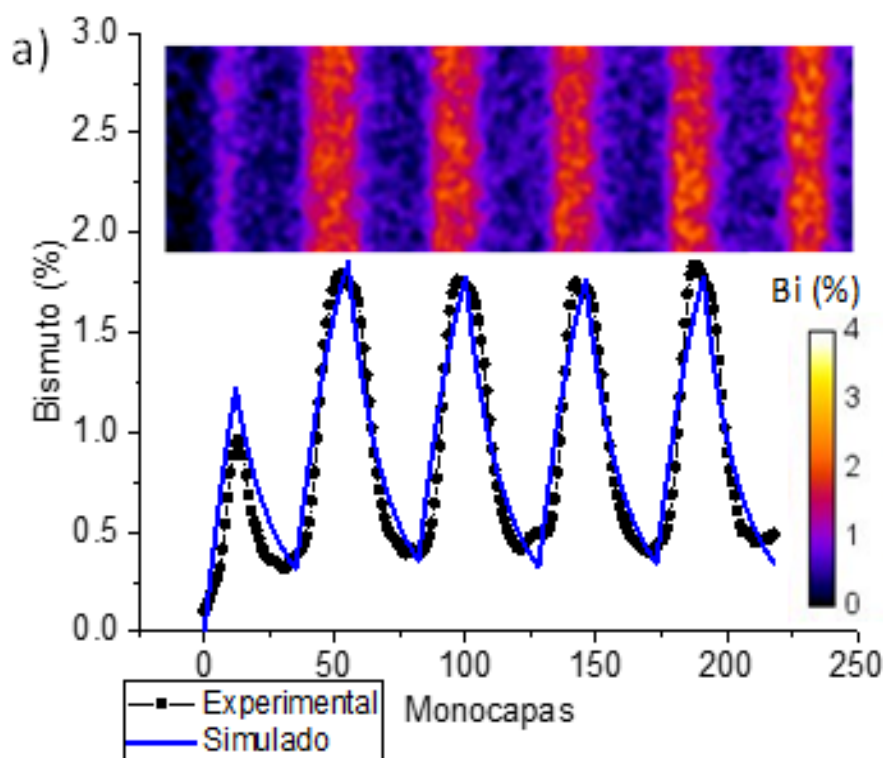
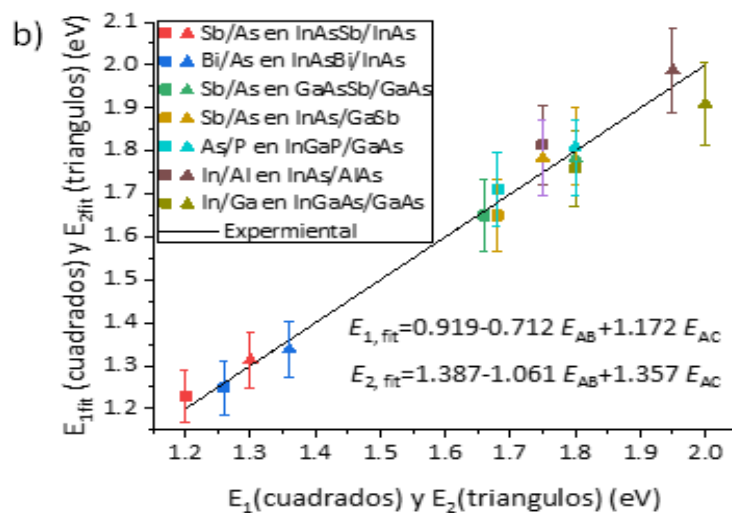


Figura 1. Mapa EDX (arriba) y los perfiles experimentales y calculados (abajo) para una muestra de superredes de InAsBi/InAs.

*“todas estas características hacen del InAsBi un compuesto prometedor en el desarrollo de posibles aplicaciones en el campo de la ingeniería de bandas”*

Con este proyecto, se pretende entender los mecanismos de segregación que se producen durante la deposición de Bi a baja temperatura a través de epitaxia de haz molecular (MBE) en diferentes estructuras de superredes (SL) basadas en aleaciones InAsBi y su correlación con las propiedades del material. Para ello, se ha realizado una completa caracterización estructural y composicional de cuatro muestras de superredes de InAsBi/InAs con composición de Bi de 1,2-2,8%. A partir de los datos de distribución de composición hemos podido modelar los perfiles de segregación de Bi (Figura 1), utilizando para ello un mecanismo de intercambio de fluidos de tres capas, extrayendo los valores de las energías de intercambio As/Bi en la matriz de InAs ( $E_1, 1,26\pm 0,01$  eV y  $E_2, 1,36\pm 0,02$  eV). Esto nos ha permitido comprender mejor los mecanismos de segregación que se producen durante la deposición de Bi a baja temperatura mediante MBE, llegando a proponer una relación

para calcular las energías de activación para el intercambio en aleaciones III-V a partir de las energías de enlace (Figura 2), lo que nos ha permitido predecir nuevos valores para otros compuestos previamente desconocidos, como es el caso de las energías de intercambio As/Bi estimadas para las aleaciones de GaAsBi/GaAs ( $E_1, 1,24\pm 0,01$  eV y  $E_2, 1,31\pm 0,02$  eV). Estos valores ya han sido probados con éxito para describir el perfil Bi en diferentes aleaciones de GaAsBi corroborando la eficacia de nuestro ajuste. De los resultados obtenidos en dicho proyecto, esperamos que esto sirva para acercarnos en la medida de lo posible a la fabricación de dispositivos de emisión y fotodetectores en la región del infrarrojo con mejores prestaciones que los actuales.



**Figura 2.** Diagrama de las energías  $E_1$  y  $E_2$  ajustadas frente a las experimentales para diferentes sistemas III-V (de nosotros y otros autores). La línea sólida representa la igualdad entre las energías calculadas y medidas.



El Dr. Daniel Fernández de los Reyes se licenció en Física en 2009 por la UCO y posteriormente realizó el Máster en Ciencias y Tecnologías Químicas en la UCA, donde obtuvo una beca para hacer el doctorado. En 2014, defendió su tesis sobre caracterización de nanoestructuras semiconductores III-V, obteniendo la máxima calificación y el premio extraordinario de doctorado de la UCA. Actualmente es PAD en el Área de Ciencias de los Materiales y continúa trabajando en la caracterización de nanoestructuras para dispositivos foto-electrónicos y fotovoltaicos.



### *Eventos divulgativos en los que el Instituto ha participado durante 2019*

#### Ciencias Around You (CAY) y Semana de la Ciencia y la Tecnología 2019

Ciencias Around You es un programa de divulgación científica dirigido preferentemente a alumnos de 4º ESO y 1º de Bachillerato Científico-Tecnológico o Ciencias de la Salud. Los alumnos visitan la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz y participan en los talleres “Experimenta en el Laboratorio” donde, a través de una serie de experimentos, pueden descubrir la Biotecnología, Enología, Ingeniería Química y Química, así como las Matemáticas, a través de una serie de problemas lógicos. Con estas actividades se espera despertar su curiosidad por la Ciencia haciéndoles partícipes de la vida universitaria por un día. Este año tuvo lugar del 29 de enero al 8 de febrero.

La Semana de la Ciencia y la Tecnología forma parte del programa de divulgación científica orientado a alumnos de 3º ESO y 4º ESO de la provincia de Cádiz. En esta actividad los alumnos participan en un itinerario de talleres y actividades vinculadas a las titulaciones que se imparten en la Facultad de Ciencias: Biotecnología, Enología, Ingeniería Química, Matemáticas y Química. Adicionalmente los alumnos participan en una serie de ponencias-coloquios dónde pueden descubrir algunos de los aspectos prácticos de la Investigación llevada a cabo en la Facultad de Ciencias. Este año tuvo lugar del 4 al 14 de noviembre.

#### Café Con Ciencia 2019

Café con Ciencia es una actividad en la que un científico andaluz se sienta con un grupo reducido de invitados a conversar alrededor de una mesa. Los asistentes son estudiantes por la mañana y público en general por la tarde. Durante el encuentro, el experto desgrana su actividad científica, cómo es su día a día o sus aficiones, conversando con los participantes en un ambiente distendido y cercano. En esta edición, que tuvo lugar el 5 de noviembre en la Facultad de Ciencias, los alumnos tuvieron un encuentro con el director del IMEYMAT, Francisco Miguel Morales Sánchez, y con el investigador Antonio Santos Izquierdo-Bueno. sobre un ameno acercamiento al Mundo de la Microscopía tratando de poner en contexto a los asistentes sobre la capacidad y el marco tecnológico del que se dispone hoy en día en los ámbitos de la microscopía óptica y la microscopía electrónica, precedido de una pequeña presentación del instituto IMEYMAT, mientras disfrutaban de un desayuno saludable. En la segunda parte de la actividad, con la colaboración con el personal de los SC-ICYT, los asistentes pudieron disfrutar de una visita guiada por las instalaciones y el equipamiento científico del que dispone la Universidad de Cádiz.



## XI Jornadas de Jóvenes Investigadores en Física Atómica y Molecular (J2IFAM)

Este año se celebraron en la Facultad de Ciencias las XI Jornadas de Jóvenes Investigadores en Física Atómica y Molecular (J2IFAM), organizadas por doctorandos del grupo SCEM del Departamento de Química Física y del Instituto IMEYMAT, y patrocinadas activamente por el GEFAM (Grupo Especializado en Física Atómica y Molecular) del CSIC, el IMEYMAT y los Vicerrectorados de Investigación y de Recursos Docentes y de la Comunicación de la Universidad de Cádiz.

Tuvieron lugar del 26 al 29 de marzo y constituyen un evento científico de ámbito nacional cuyo propósito es reunir a investigadores en etapa predoctoral o postdoctoral y proveer un foro en el que divulgar y discutir los resultados de su actividad científica relacionados con la Física Atómica y Molecular.

Las J2IFAM nacieron en el seno del Departamento de Física Atómica, Molecular y Agregados del Instituto de Física Fundamental del CSIC (2008), y durante la última década ha tenido como sede a distintas universidades españolas: Universidad de Barcelona (2010 y 2018), Universidad de Santiago de Compostela (2011), Universidad de Granada (2012), Universidad Complutense de Madrid (2013), Universidad del País Vasco (2014), Universidad de Jaén (2015), Universidad de Valladolid (2016) y Universidad de Sevilla (2017).

## European Summer Workshop: Transmission Electron Microscopy of Nanomaterials (TEM-UCA)

Durante los días 16 a 20 de Septiembre se ha celebrado la décimonovena edición de la European Summer Workshop: Transmission Electron Microscopy of Nanomaterials (TEM-UCA) en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz. Este taller organizado por el Departamento de Ciencias de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica de la UCA trata aspectos teóricos y aplicados de las técnicas de Microscopía Electrónica Avanzada en la caracterización de materiales a escala atómica. Cuenta con el patrocinio de instituciones como el IMEYMAT, la Sociedad de Microscopía de España (SME), y empresas como Aname, Thermo Fisher Scientific, Gatan, MultiComp y Protochips, entre otras. Está enfocado a estudiantes de doctorado, investigadores y técnicos interesados en adquirir las habilidades básicas de interpretación y un conocimiento fundamental de las principales técnicas asociadas a la Microscopía Electrónica de Transmisión de Nanomateriales.

En esta edición hemos contado con ponentes invitados de instituciones nacionales e internacionales como Florent Houdellier (Chercheur CNRS, Toulouse), Francisca Peiró (Universitat de Barcelona), Gerald Kothleitner (Graz University of Technology, Austria), Marc Willinger (ETH Zürich) o José González Calbet (Universidad Complutense de Madrid). TEM-UCA cuenta con sesiones prácticas en laboratorios en las que los participantes reciben formación sobre diferentes aplicaciones de software en el campo de Microscopía Electrónica de Transmisión. Estas sesiones son impartidas por investigadores pertenecientes a nuestro Instituto como los doctores José Antonio Pérez Omil, Juan José Delgado Jaén, Miguel López Haro, Juan Carlos Hernández Garrido, Susana Trasobares Llorente y Ana Belén Hungría Hernández. En estos laboratorios los principales temas tratados son la microscopía electrónica de alta resolución (HREM), el procesamiento de imágenes y simulaciones de imágenes, el modelado de nanopartículas, la espectroscopia de pérdida de energía de electrones (EELS), la espectroscopia de dispersión de energía de rayos X (EDX) y la tomografía de electrones.

## Noche Europea de los Investigadores 2019

Desde el año 2005 se celebra de manera simultánea en más de 350 ciudades europeas La Noche Europea de los Investigadores. Este proyecto es promovido por la Comisión Europea como parte de las Acciones Marie Skłodowska-Curie, dentro del programa Horizonte 2020. Tiene por objetivo acercar la Ciencia y las personas que investigan al público en general, demostrando de una forma práctica y lúdica la relación entre investigación y vida cotidiana. En la última edición, septiembre de 2019, nuestro Instituto organizó los talleres "Las diversas escalas de la materia" en el que se explicó cómo son y cómo funcionan los microscopios electrónicos, y qué tipo de estudios científicos se pueden hacer en los mismos, "El mundo Nano - Cómo funciona una impresora 3D: fabricando desde cero todo lo que puedas imaginar" y "La magia de la catálisis". El evento tuvo lugar en la Plaza de San Antonio en Cádiz, donde se organizaron más de 65 actividades entre talleres, microencuentros, catas y exposiciones, en las que participaron más de 400 investigadores y un centenar de voluntarios. Esta iniciativa va creciendo año tras año, aumentando el número de asistentes, en nuestra ciudad acudieron cerca de 8000 personas que pudieron conocer más de cerca las actividades que se desarrollan en la Universidad de Cádiz y disfrutar una noche con la Ciencia.



**UCA**

---

Universidad  
de Cádiz