

NUEVOS MATERIALES PARA RETOS SOCIALES GLOBALES: EL INSTITUTO DE CIENCIA DE MATERIALES DE MADRID (ICMM-CSIC)

José Ángel Martín Gago

Director del Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM-CSIC)

Pilar Aranda

(Vicedirectora del ICMM)

Jesús Ricote

(Vicedirector del ICMM)

RESUMEN

El Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICM), perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), es un centro de investigación de renombre internacional comprometido con la realización de investigación sinérgica a la vanguardia del conocimiento para abordar desafíos sociales para los que es esencial contar con nuevos materiales. Las temáticas que se desarrollan abarcan desde la investigación fundamental hasta las aplicaciones tecnológicas, e involucran a investigadores de diferentes campos, como la química, la física y la ingeniería; además combinan estudios tanto teóricos como experimentales. El gran número de investigadores vinculados al ICMM permite enfrentar problemas sinérgicos, compartiendo instrumentación y conocimiento. Este entorno ha convertido al ICMM en un atractor de jóvenes talentos que, de manera creciente, se están desplazando al ICMM para desarrollar sus carreras profesionales.

1. INTRODUCCION

El ICMM se encuentra situado en el campus de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) y es un miembro activo del "UAM+CSIC International Excellence Campus". Cuenta con más de 150 investigadores y 50 estudiantes de doctorado y puede considerarse como un centro de referencia en el campo de la ciencia y tecnología de los materiales y la nanotecnología. La actividad de los grupos de investigación puede enmarcarse dentro de tres líneas de investigación interdisciplinares relacionadas con importantes retos sociales incluidos en la agenda 2030: "Materiales para la información digital", "Materiales para un mundo sostenible" y "Materiales para la salud".

En la línea "Materiales para la información digital" se desarrollan nuevas tecnologías y materiales que tienen como objetivo contribuir a una digitalización creciente de la sociedad a través de su integración en dispositivos electrónicos mejorados (mejor rendimiento, menor consumo, más sostenibles). Estos materiales podrán ser utilizados en el marco de la internet de las cosas, o para su integración en sensores avanzados. Un ejemplo son los materiales cuánticos capaces de generar un cambio revolucionario en la tecnología del siglo XXI.

Preocupados por el creciente impacto humano en el planeta, en la línea "Materiales para un mundo sostenible" se desarrollan materiales críticos que permitan abordar las necesidades de producción y acumulación de energía. En el ICMM se estudian, entre otras cosas, materiales naturales y sintéticos

para el almacenamiento y la generación de energía, así como para la remediación ambiental, a la vez que se buscan procesos de síntesis más respetuosos con el medio ambiente.

“Materiales para la salud” es una línea emergente en el ICMM en la que se contribuye al creciente impacto de la ciencia y tecnología de materiales en biomedicina. Utilizamos y preparamos nuevos (nano)materiales para el diagnóstico precoz y el tratamiento no invasivo de enfermedades y la regeneración neuronal.

Para el lector que requiera más información, estas líneas de investigación serán desarrolladas en más profundidad en la última sección.



Fotografía del ICMM-CSIC, situado en el campus de la Universidad Autónoma de Madrid.

El ICMM cuenta, de manera transversal a estas líneas de investigación, tanto con el laboratorio de inteligencia artificial, llamado AI-Lab (por sus siglas en inglés), como con los servicios tecnológicos. La inteligencia artificial se ha convertido en una importante herramienta para la ciencia de los materiales. Los científicos del ICMM aprovechan su gran masa crítica y variedad de especialidades para desarrollar nuevos materiales y protocolos que permitan resolver problemas específicos con estas nuevas técnicas. Este laboratorio trabaja de forma sinérgica, con la participación de investigadores de diversos grupos de investigación.

El ICMM cuenta con instalaciones y equipos de última generación que permiten a los investigadores llevar a cabo experimentos de vanguardia y desarrollar materiales innovadores. En particular, los servicios científico-técnicos son ampliamente utilizados tanto por nuestros científicos como por otros centros nacionales e internacionales. Para una información más detallada, ver la sección “infraestructuras científicas”

El ICMM tiene además un fuerte compromiso con la formación científica en diversos niveles educativos. A la supervisión de tesis doctorales hay que añadir la dirección de un programa de máster, la oferta de un programa integral de cursos de postgrado y de ciclos de seminarios. El Instituto también colabora con universidades y centros de investigación de toda España, y en particular con aquellos situados en Madrid, con el objeto de promover la investigación interdisciplinar y formar a la próxima generación de científicos de materiales, a través de la supervisión de prácticas y trabajos de fin de grado y fin de máster. La formación no solo se limita a jóvenes científicos, sino que también se dispone de un solicitado programa de visitas para centros educativos de enseñanza secundaria y acoge estudiantes de ESO a través de iniciativas promovidas en diversos programas.

La divulgación de las actividades del ICMM a la sociedad y al público en general está coordinada por una comisión y apoyada por nuestra unidad de comunicación. Cabe citar como ejemplos que el ICMM coordina a unos 10 centros del CSIC en la Noche Europea de Investigación (25 investigadores del ICMM involucrados), el programa "Toca la Ciencia", un laboratorio móvil para llevar la ciencia a las escuelas, que ha llegado a alrededor de 2500 estudiantes, y colaboraciones en *youtube* con

comunicadores científicos profesionales (más de 600k visitas). Se hace un gran esfuerzo para promover a las mujeres científicas y atraer a las niñas a la ciencia, especialmente con la iniciativa española del 11 de febrero de “11defebrero.org” (Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia de la ONU), que se originó en el ICMM, y que ha promovido la organización de 8000 actividades desde 2017. Es de destacar, la actividad Escape Road: A la búsqueda de las científicas Nobel y no Nobel con más de 11000 participantes sin contar los de la versión on-line. Finalmente, la premiada obra de teatro “La vida radiante de Marie Curie” (2019) (bit.ly/3rAVtYW) fue creada e interpretada por personal del ICMM (más de 40 miembros del personal involucrados) y ha contado con más de 3000 espectadores, además de numerosas visitas online.

Por otra parte, es muy importante reseñar que los científicos del ICMM están comprometidos con la igualdad en el ámbito científico para garantizar que toda la comunidad esté involucrada y abordar, entre otros, el identificado desequilibrio de género actual. En este sentido el Centro fue galardonado con el Distintivo de Igualdad del CSIC en el año 2019, y fue impulsor de la creación de la actual red de comisiones de igualdad del Campus CSIC-UAM, sin duda una de las más activas del CSIC.

2. INFRAESTRUCTURAS CIENTIFICAS

Las infraestructuras científicas del ICMM se gestionan a través de los servicios científico-técnicos, y son ampliamente utilizados tanto por nuestros investigadores como por otros centros nacionales e internacionales. Esta instrumentación está disponible a cualquier grupo de investigación o empresas, y las distintas técnicas experimentales están recogidas dentro del catálogo de servicios del CSIC. Entre otros se pueden destacar los siguientes instrumentos:



El ICMM dispone de una amplia variedad de instrumentos que permiten caracterizar y fabricar nuevos materiales.

- *Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear (RMN)*: operando a 400 MHz y una consola con los accesorios necesarios para realizar experimentos de espectroscopia multinuclear de estado sólido. Las características especiales incluyen una sonda para medir núcleos de baja frecuencia, la capacidad de hacer correlaciones heteronucleares XY de una amplia gama de núcleos y la posibilidad de medir coeficientes de difusión de ^1H , ^7Li y ^{23}Na a temperaturas variables. Esta infraestructura fue la primera de este tipo en España.

- *Difractómetros de rayos X*: tres difractómetros de polvo con detectores de alta velocidad y capacidad de microdifracción. Recientemente ha incorporado un nuevo difractómetro equipado con tres fuentes de brillo ultra-alto de última generación, con radiación Cu, Mo y Ag, un detector altamente sensible, y la capacidad de enfriar muestras hasta 30K y realizar medidas de alta presión.

- *Microscopio Electrónico de Barrido (FE-SEM)*: equipado con microanálisis (EDS) que permite mapeo elemental y detector vCD que ofrece alto contraste a baja tensión para la obtención de imágenes de muestras no conductoras sin metalización.

- *Laboratorio de Magnetometría*: cuenta con tres magnetómetros MPMS de Diseño Cuántico (basados en sensores SQUID, hasta 7 T de campo magnético en el rango de temperatura entre 1,8 y 1000 K), y dos Quantum Design PPM,S equipados con bobinas de 9 y 14 T que permiten medir la susceptibilidad AC (0,1 Hz a 10 kHz), magnetotransporte y capacidad calorífica.

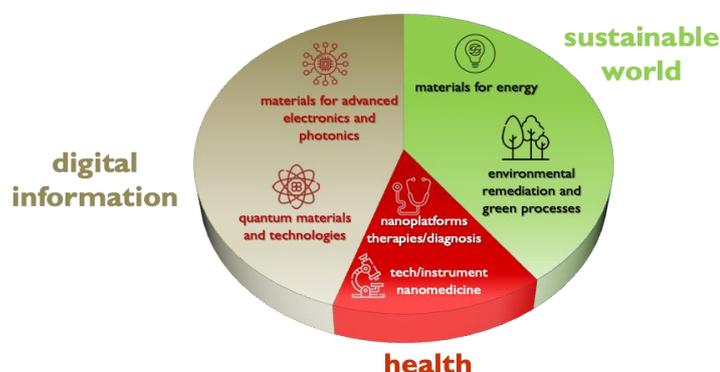
Por último, nos gustaría destacar dos Infraestructuras Singulares, que, aunque diseñadas, construidas y gestionadas por grupos de investigación del ICMM, los instrumentos son de una elevada complejidad técnica y están abiertos a la comunidad científica internacional en el marco de diferentes proyectos europeos:

- *BM25-SpLine/ICMM* es la línea de luz CRG española en el ESRF (Grenoble, Francia) financiada por el Ministerio de Ciencia e Innovación y gestionada por el ICMM. Se dedica a investigaciones estructurales utilizando dispersión de rayos X duros principalmente en ciencia de materiales, especializada en la combinación de técnicas de difracción y espectroscopia. La línea de luz incorpora equipos de última generación para experimentos en diferentes áreas como física, química, ciencia de materiales, biología, ciencias ambientales y patrimonio cultural. En particular, una configuración única en todo el mundo dedicada a la combinación simultánea de difracción de rayos X de incidencia rasante y espectroscopia de fotoelectrones de rayos X duros (hasta 15 keV). La línea de luz ofrece alrededor de 5000 horas de tiempo de luz por año a la comunidad de investigación nacional e internacional.

- *STARDUST*: Es una máquina modular de ultra alto vacío única en todo el mundo dedicada a la fabricación de nanopartículas altamente controladas con alto rendimiento y a su caracterización. Se producen en fase gaseosa con alta pureza, y con un tamaño y estequiometría controlados. Se pueden recolectar en la cantidad deseada (espesor <500 nm) sobre superficies arbitrarias para diferentes usos. Un programa NFFA-EU permite el acceso a científicos de diferentes países para utilizar esta instalación para cubrir superficies con materiales nanoestructurados para catálisis, foto-electro-catálisis, sensores avanzados, desactivación de virus o crear estructuras plasmónicas.

3. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN DEL ICMM

Los grupos de investigación utilizan el entorno interdisciplinar que ofrece el centro de manera que la mayoría de ellos contribuyen a varias líneas de investigación, estructurándose la actividad de I+D+i alrededor de tres líneas de investigación y una acción transversal, como se ha dicho anteriormente: las líneas Materiales para la Información Digital, Materiales para un Mundo Sostenible y Materiales para la Salud, y como acción transversal el laboratorio de inteligencia artificial.



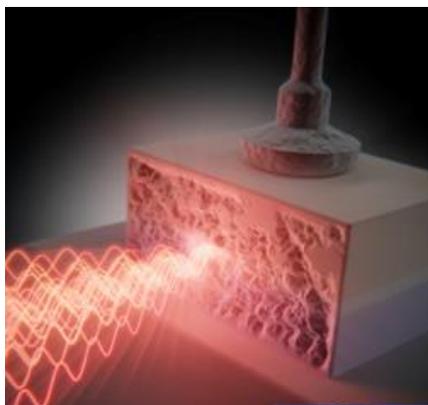
Esquema que indica las líneas de investigación del ICMM-CSIC

El liderazgo internacional en estas tres líneas de investigación es reconocido no sólo por los excelentes resultados obtenidos, sino también por el número de proyectos nacionales e internacionales

liderados desde el Instituto. Estas líneas estratégicas se mantendrán a la vanguardia de la investigación del ICMM en los próximos años, ya que son reconocidas por la Comisión Europea como líneas prioritarias y son también el eje de nuestro plan estratégico.

4.MATERIALES PARA LA INFORMACIÓN DIGITAL.

El cambio digital y la sociedad de la información tienen un amplio potencial para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos a través de su previsible papel como motor del crecimiento económico, empleo e innovación. La ciencia de los materiales juega un papel fundamental para conseguir este objetivo. En particular, hay una carrera para usar, entre otros, dispositivos fotónicos para reemplazar electrones como portadores de información, y para diseñar nuevos dispositivos magnetoeléctricos o espintrónicos capaces de impulsar una revolución cuántica. Los nanomateriales avanzados e integrados que actúan como sensores también desempeñan un papel clave en la transformación digital. La investigación del ICMM está a la vanguardia en estos aspectos. Esta línea fusiona sus objetivos con la sostenibilidad, ya que se utilizan procesos y elementos “verdes” para la fabricación. Podemos dividir la actividad en dos sublíneas diferenciadas.



Utilizar luz para transmitir información o aprovechar la naturaleza cuántica de la materia para construir nuevos dispositivos son algunos de los retos de la era digital que se abordan en el ICMM

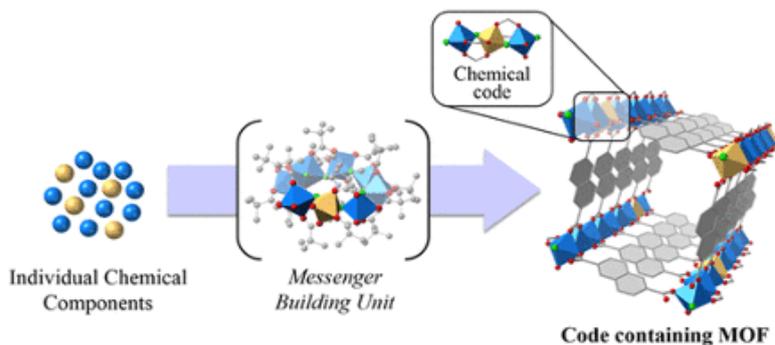
Materiales para electrónica avanzada y fotónica, se centra en la síntesis, procesamiento, caracterización, modelado y aplicaciones de materiales funcionales para su integración en dispositivos que puedan utilizarse, entre otras cosas, para almacenamiento, detección, procesamiento o transmisión de la información. Los esfuerzos se centran en diversos temas como nanoestructuras magnéticas y magnónicas para memorias y sensores avanzados, materiales ferroeléctricos y multiferroicos para electrónica flexible con rendimiento mejorado, la preparación de materiales nanoestructurados con propiedades fotónicas novedosas, o el desarrollo de materiales 2D y heteroestructuras de van der Waals que puedan ser integradas en nuevos dispositivos.

Materiales y tecnologías cuánticas, se centra en el desarrollo de materiales en los que su naturaleza cuántica conduce a la aparición de nuevas propiedades y sus aplicaciones en tecnologías cuánticas. Un número importante de los investigadores del ICMM tienen experiencia en el desarrollo de diferentes técnicas teóricas y experimentales para el estudio de fenómenos físicos complejos como la superconductividad de materiales fuertemente correlacionados, los materiales topológicos y los qubits semiconductores para la computación cuántica de estado sólido, por citar algunos.

5. MATERIALES PARA UN MUNDO SOSTENIBLE.

Desarrollar fuentes de energía más limpias, buscar alternativas sostenibles para reducir los procesos que causan daño al medio ambiente o diseñar nuevas rutas de síntesis no convencionales para reducir la contaminación ambiental son algunos de los desafíos globales urgentes en los que la ciencia

de los materiales tiene una relevancia primordial. En este contexto, un objetivo clave del ICMM es contribuir al desarrollo de la próxima generación de materiales, dispositivos y procesos de fabricación ecológicos para combatir el cambio climático, mejorar la eliminación de residuos y permitir el acceso a una energía limpia y eficiente. Creemos que el desarrollo de nuevos materiales y procesos sostenibles, utilizando métodos de síntesis verde, ha de estar a la vanguardia de la producción de materiales ya que además contribuirá a una ingeniería industrial respetuosa con el medio ambiente, aspectos que deben ser un objetivo esencial de la ciencia moderna de materiales. Con este objetivo, se actúa desde dos perspectivas.



En el ICMM construimos materiales desde sus componentes moleculares, de manera que puedan utilizarse para limpiar residuos, obtener energías más limpias o como catalizadores respetuosos con el medio ambiente.

Materiales para energía, se centra en conseguir materiales nuevos y mejorados para una gama de dispositivos de generación, almacenamiento y recolección de energía, que van desde celdas de combustible, y baterías de estado sólido hasta supercondensadores y dispositivos fotovoltaicos. En el ICMM desarrollamos tanto nuevas rutas sintéticas más ecológicas, como protocolos de caracterización mediante técnicas especializadas. Una línea muy prometedora es la de utilizar datos experimentales y simulados para el desarrollo de modelos de inteligencia artificial capaces de predecir el rendimiento en dispositivos para recolección y almacenamiento de energía.

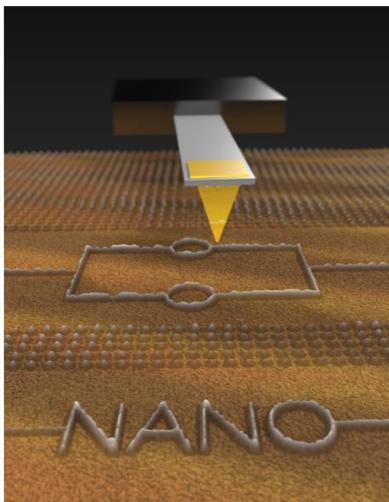
Remediación ambiental y procesos verdes, persigue un enfoque transversal centrado en la síntesis y fabricación de materiales más respetuosos con el medio ambiente, por ejemplo, aprovechando recursos naturales o buscando nuevos procesos sintéticos más sostenibles para fabricar materiales funcionales. Subrayamos los materiales reticulares, los polímeros orgánicos o las arquitecturas supramoleculares que pueden ser utilizados como catalizadores heterogéneos “más verdes”, o en el campo de la electrónica orgánica. En el ICMM también se fabrican nanomateriales híbridos, nuevas zeolitas y materiales bioinspirados.

6. MATERIALES PARA LA SALUD.

La sociedad post-pandemia ha comprendido la importancia de disponer, por ejemplo, de nuevos sensores y protocolos que nos ayuden a luchar en la prevención y terapia de nuevas enfermedades que puedan aparecer. Además, la nanotecnología ha propuesto nuevas terapias no invasivas y metodologías de diagnóstico que podrían transformar la forma de abordar algunas enfermedades. En el ICMM nuestro objetivo es desarrollar nuevos materiales y protocolos para abordar una serie de desafíos en medicina, que van desde la regeneración de tejidos al desarrollo de plataformas para mejorar la administración de fármacos, pasando por el diagnóstico no invasivo, así como por el desarrollo de nuevos instrumentos capaces de ofrecer información individual de estructuras biológicas. Así, las investigaciones en este ámbito se focalizan en dos tipos de actividades.

Nanoplataformas para terapia y diagnóstico, se centra en el diseño de nanomateriales y compuestos funcionales y estructurales, interfaces de materiales orgánicos-inorgánicos biocompatibles y dispositivos de detección y actuación. El objetivo es la síntesis y caracterización de nanopartículas y

nanoestructuras con propiedades personalizadas en función de la aplicación, el escalado de los procedimientos de síntesis y el control de las interacciones nano-bio. Estos nanomateriales son estudiados en modelos *in vitro*, *ex vivo* e *in vivo*. Para abordar la traducción clínica de los desarrollos, el ICMM mantiene estrechas interacciones con centros especializados en biología y hospitales del entorno geográfico, como el Hospital La Paz y el Hospital Nacional de Paraplégicos.



El microscopio de fuerzas atómicas es una herramienta que permite ver y manipular objetos de tamaño nanométrico

Tecnologías e instrumentación para nanomedicina, investiga el diseño y aplicabilidad de nuevas herramientas avanzadas de instrumentación y caracterización. En el ICMM hemos desarrollado sondas locales, como microscopías de fuerza, para una caracterización cuantitativa de las propiedades de biomoléculas, polímeros y materiales biomédicos. Esta actividad ha generado varias patentes que están siendo explotadas comercialmente y ha encontrado aplicaciones considerables en la industria (por ejemplo, en la fabricación de polímeros o en el desarrollo de nuevos sensores avanzados).

7. EL LABORATORIO TRANSVERSAL DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL (AI-Lab).

La inteligencia artificial se utiliza cada vez más en todas las áreas de la sociedad y la tecnología. En particular, la ciencia de los materiales es un campo donde esta nueva tecnología ha demostrado su capacidad en el diseño de nuevos materiales y la optimización de los procesos asistidos por técnicas de aprendizaje automático y redes neuronales. El objetivo del AI-Lab es triple. En primer lugar, diseñar nuestra hoja de ruta para su aplicación, en la que se identifiquen las temáticas de frontera del ICMM que podemos potenciar con esta herramienta. En segundo lugar, abordar la combinación de los desarrollos en computación con la recopilación de datos obtenidos de la síntesis, procesado y caracterización de materiales, con el fin de encontrar la solución óptima para un reto concreto. En el tercer objetivo, consiste en el desarrollo de nuevos materiales para su integración en dispositivos ópticos y electrónicos que configuren los componentes de nuevas redes neuronales artificiales.

El ICMM quiere ser protagonista en esta línea. Actualmente, cerca de la mitad de los grupos de investigación del ICMM se han sumado a esta iniciativa y ya se están abordando los siguientes temas: 1- Nuevas plataformas y nanodispositivos para computación cuántica, 2- IA para identificación de espectros complejos de impedancia eléctrica en el análisis de resonancia, 3- diseño de métodos de acoplamiento para construir sinapsis y redes neuronales, 4- métodos para facilitar la medición y el procesamiento de imágenes SPM, así como la espectroscopía local 5- predicción de composición y propiedades para una síntesis optimizada de materiales, incluyendo zeolitas, electrodos o MOFs.

8. CONCLUSIÓN

En resumen, el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM-CSIC) es una institución de investigación líder en España en el campo de los nuevos materiales y nanomateriales, dedicada a aportar soluciones innovadoras desde el ámbito de los materiales a los principales retos sociales a los que nos enfrentamos hoy en día. Un equipo multidisciplinar de científicos, ingenieros y técnicos nos permite abordar una amplia variedad de temáticas que van desde la transición digital hasta la medicina, pasando por aquellas relacionadas con la sostenibilidad. El dinamismo que envuelve la actividad del instituto queda reflejado en nuestra página web (icmm.csic.es) y nuestra amplia presencia en redes sociales, donde se recogen tanto nuestros trabajos científicos más destacados como las acciones de formación y divulgación de la ciencia, además de cualquier noticia que haya generado la investigación que se lleva a cabo en el centro.