

# Nodos de la Física

Descripción de la estructura, objetivos y actividades de los centros de acción científica, públicos y privados, más significativos en España que, con una notable participación de físicos, realizan investigación científica o técnica y docencia avanzada

## Sobre el ICMAB

Por Mariano Campoy-Quiles, Josep Fontcuberta, Marta Mas-Torrent, Anna May-Masnou, Xavier Obradors, Rosa Palacín, Teresa Puig, Imma Ratera y Riccardo Rurali

**E**l Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB), integrado en el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), es un centro de investigación reconocido internacionalmente en el campo de materiales funcionales avanzados y nanomateriales y, desde 2016, acreditado como Centro de Excelencia Severo Ochoa por el Ministerio de Economía y Competitividad, bajo el proyecto estratégico de “Materiales funcionales inteligentes para grandes desafíos sociales” (FUNMAT). Es el único centro de España que ha logrado este reconocimiento en el campo de la ciencia de materiales.

Empezó sus actividades en 1986 y, desde abril de 1991, se ubica en el Campus de Excelencia Internacional de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB-CEI) en Bellaterra, muy cerca de Barcelona. Se trata de una localización privilegiada que propicia la investigación porque, además de tratarse de un entorno universitario, está rodeada de centros tecnológicos, institutos de investigación, e industrias, formando uno de los mayores polos de atracción nanotecnológicos de España y del sur de Europa. El Instituto está entre los fundadores del Clúster de Nanotecnología de Barcelona en Bellaterra (BNC-b), una asociación cooperativa creada para promover la nanociencia, la nanotecnología y los nanomateriales, que incluye la UAB, tres centros de investigación (ICMAB, ICN2, CNM-IBM), el parque de investigación de la UAB (PRUAB) y el cercano sincrotrón ALBA. Los logros científicos del centro, así como su ubicación en un entorno generador de conocimiento en Cataluña, favorecen que el ICMAB tenga un gran impacto en el campo de la Ciencia de Materiales, tanto en el ámbito local como internacional.

Hoy en día nos enfrentamos a grandes retos en el campo de la energía (renovables, reducción de emisiones...), la electrónica (big data, memorias...), y la medicina (nanomedicina inteligente...). La Ciencia de Materiales y, en particular, las actividades de I+D en nanociencia y nanotecnología, desempeñarán un papel crucial para hacerles frente gracias a la creación de materiales inteligentes y con diversas funcionalidades. Conscientes de estos retos, la principal misión del ICMAB es la generación de conocimiento en estas áreas a partir de la I+D de excelencia y su transferencia a la sociedad. Para abordar esta misión, se llevan a cabo actividades de investigación muy diversas, ampliamente cultivadas durante los más de 30 años de vida del Instituto, abarcando una amplia gama de objetivos científicos y tecnológicos, que lo hacen estar en la frontera del conocimiento en el campo de los materiales funcionales y los nanomateriales.

Desde su creación, tanto la plantilla del Instituto como sus recursos y su impacto científico han ido aumentando. El

número de personal científico permanente ha crecido a un ritmo de aproximadamente 1,3 personas/año y, a finales de 2016, el instituto estaba integrado por 57 científicos permanentes (entre ellos 4 profesores ICREA), más de 100 investigadores postdoctorales y doctorales (aproximadamente el 40 % de ellos no españoles), unas 50 personas entre personal técnico y de administración y cerca de 50 estudiantes de grado o máster, lo que supone un total de casi 300 personas.

La competitividad del centro puede inferirse del alto porcentaje (~60 %) del presupuesto anual, que ascendía a 12 M€ en el 2016, recaudado de fondos competitivos. Una parte considerable de estos fondos (~30 %) se obtiene por la participación en proyectos europeos, muchos de ellos coordinados o con activa participación de los investigadores del ICMAB, como el proyecto EUROTAPES, en superconductores para la mejora de la eficiencia energética, el MSCA-COFUND,

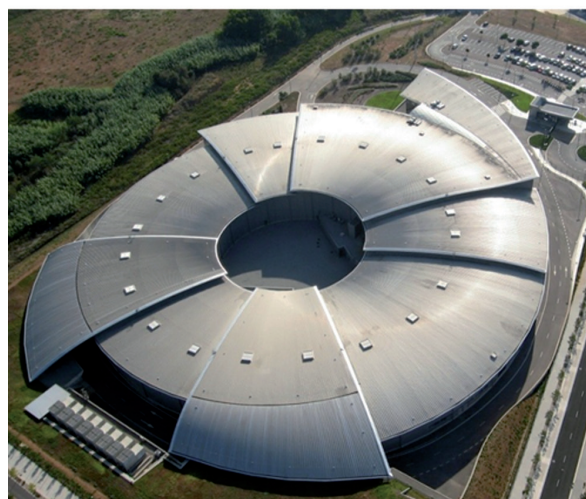


Fig. 1. El ICMAB en el Campus de la Universidad Autónoma de Barcelona y, muy cerca, el sincrotrón ALBA.

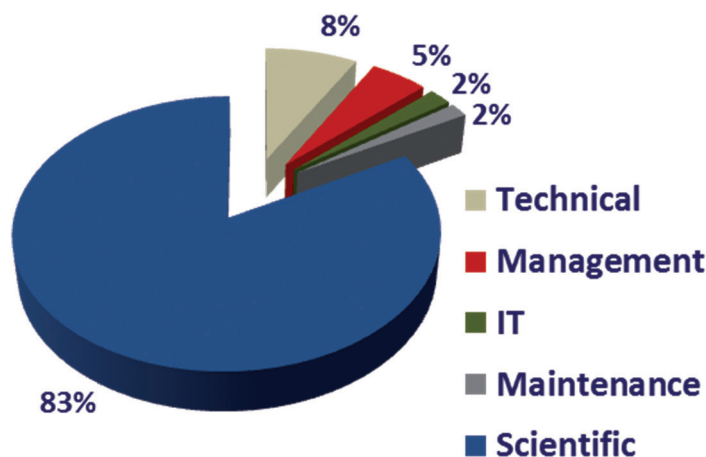


Fig. 2. Recursos humanos del Instituto.

en materiales funcionales avanzados, o la plataforma NFFA para investigación multidisciplinaria en nanotecnología. Cabe destacar que el Instituto cuenta en la actualidad con 9 proyectos del Consejo Europeo de Investigación (ERC), siendo el primer centro en ERC dentro del CSIC y representando el 23 % de los proyectos ERC obtenidos en la esfera UAB-CEI. También ha coordinado grandes proyectos nacionales, como los incluidos en el programa Ingenio2010, el programa nacional Consolider NANOSELECT (materiales avanzados y nanotecnologías para dispositivos eléctricos, electrónicos y magnetoelectrónicos innovadores), el consorcio CIBER-BBN (Centro de Investigación Biomédica en Red en Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina), la gran Instalación Científica y Técnica Singular (ICTS) NANBIOSIS, y el proyecto Severo Ochoa FUNMAT, cuya primera evaluación realizó el Consejo Asesor Científico (Scientific Advisory Board) en noviembre de 2016.

Durante los más de 30 años de su existencia, los investigadores del Instituto han publicado aproximadamente 4.800 artículos, que han acu-

mulado más de 120.000 citas. Anualmente se publican alrededor de 220 artículos, un 20 % de los cuales pertenece al 10 % de los más citados en la clasificación mundial. El restante 80 % ha sido publicado en revistas del primer cuartil y tienen un factor de impacto promedio de 5,8. Como indicativo de internacionalidad, alrededor del 60 % de los artículos son en colaboración con instituciones extranjeras. El Instituto también produce cerca de 5-10 patentes al año, y en 2010 se fundaron las dos empresas spin-off del centro, Oxolutia y Nanomol Technologies.

El Instituto ha demostrado ser un centro de investigación muy activo, e internacionalmente competitivo en su área. Un centro que quiere renovarse continuamente a través de la contratación de jóvenes científicos, con talento, con nuevas ideas y con el entusiasmo necesario para explorar, descubrir y crear nuevos y mejores materiales.

### Ejes de investigación

El ICMAB es un centro de investigación multidisciplinario con un amplio conocimiento en materiales funcionales avanzados y con actividades en varias áreas científicas, incluyendo la química, la física, la ciencia de materiales y la nanotecnología. El enfoque interdisciplinar de las actividades de I+D se considera un aspecto clave para el éxito del Instituto. Bajo el proyecto de Excelencia Severo Ochoa, las actividades se focalizan en desarrollar “Materiales funcionales inteligentes para grandes desafíos sociales” para convertirse así en un centro de referencia mundial en tres grandes áreas, alineándose con los principales retos sociales europeos del programa H2020:

1. Energía limpia y segura.
2. Electrónica sostenible y de bajo coste.
3. Nanomedicina inteligente.

El proyecto se estructura en cinco grandes líneas de investigación (RL, por sus siglas en inglés) que integran el *know-how* de los investigadores, organizados en ocho grandes grupos temáticos y estructurados en los 14 grupos de investigación que forman el Instituto. Las cinco RL son:

- RL1 – Sistemas de conversión y almacenamiento de energía sostenible.
- RL2 – Superconductores para aplicaciones en energía.
- RL3 – Electrónica, almacenamiento de datos y comunicaciones con óxidos multifuncionales.
- RL4 – Electrónica molecular.
- RL5 – Biomateriales multifuncionales nanoestructurados.

La consecución de los objetivos propuestos en cada área, incluyendo importantes avances innovadores y específicos, se asegura con una amplia experiencia en investigación en materiales funcionales, nanomateriales, y materiales novedosos, abarcando desde óxidos y compuestos

Fig. 3. Personal del ICMAB, entrega del certificado de Excelencia Severo Ochoa (febrero 2016), visita del Scientific Advisory Board del Severo Ochoa al Instituto (noviembre de 2016).





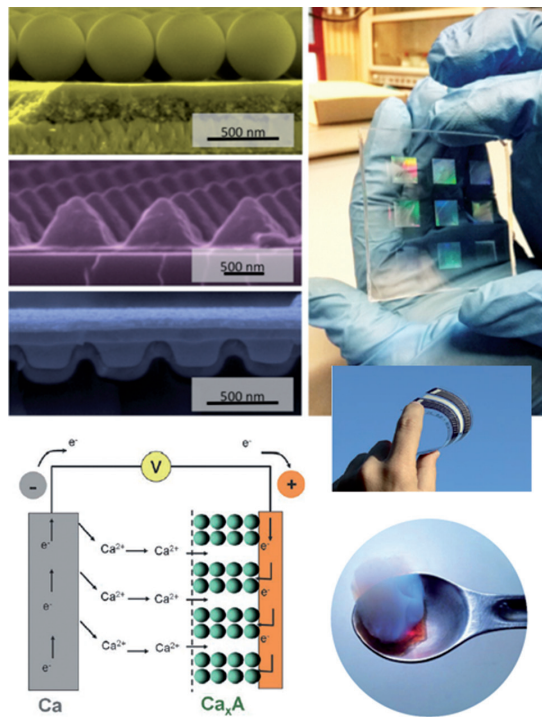
moleculares, hasta materiales híbridos orgánicos-inorgánicos, con distintas propiedades eléctricas, fotónicas, magnéticas, biológicas, etc. La investigación engloba toda la cadena de valor de la ciencia y tecnología de los materiales: desde el descubrimiento de nuevos materiales, la preparación de materiales de diferentes formas y dimensiones (nanopartículas, nanohilos, láminas delgadas, monocristales...) y la formulación de nuevos procesos de fabricación, hasta la caracterización avanzada, el desarrollo de modelos teóricos y la integración de los nanomateriales en una gran variedad de dispositivos. La preparación de nanoestructuras de una forma controlada y el autoensamblaje de materiales a la nanoescala son cuestiones clave para mejorar las prestaciones y conseguir nuevas funcionalidades. También es crucial el desarrollo de procesos de fabricación económicamente eficientes y escalables, especialmente para la transferencia de estas tecnologías a la industria.

### RL1 – Sistemas de conversión y almacenamiento de energía sostenible

Uno de los objetivos del Instituto es estar en el centro de la transformación energética para convertirse en un centro europeo y con reconocimiento mundial en materiales para la energía. El principal objetivo de la RL1, con la participación de 34 investigadores y sus grupos de investigación, es desarrollar nuevos materiales y tecnologías de almacenamiento y conversión de energía sostenible, así como dispositivos con rendimientos más allá de los reportados hasta el momento. La estrategia de la línea se centra en tecnologías emergentes con alto potencial para conseguir elevados rendimientos y máxima sostenibilidad, usando herramientas experimentales de vanguardia, materiales basados en elementos no tóxicos y abundantes en la tierra, y pensando en aplicaciones todavía por explorar.

Los temas estratégicos que se desarrollan, y de los cuales se quieren conseguir niveles de madurez tecnológica (TRL) elevados son: células fotovoltaicas para la obtención de electricidad a partir de la energía solar; materiales termoeléctricos orgánicos e inorgánicos, que convierten calor en electricidad, y baterías basadas en estrategias que van más allá de la tecnología ion-litio. Cada tema estratégico cuenta con un proyecto ERC y varios proyectos industriales.

La investigación en células fotovoltaicas se centra en tecnologías no tóxicas y de alto retorno energético, incluyendo desde materiales orgánicos a óxidos, que pueden depositarse por métodos químicos y con tecnologías de bajo coste fácilmente escalables. En la RL1 se efectúa todo el proceso, desde la síntesis y la caracterización hasta la nanoestructuración y la fabricación de dispositivos. El objetivo es conseguir una eficiencia del 15 % y, por ello, aparte de elegir los mejores materiales,



**Fig. 4.** Estructuras fotónicas para aplicaciones energéticas, baterías de calcio, células fotovoltaicas flexibles, aerogeles. Imagen superior izquierda reproducida de *Adv. Opt. Mater.* 2013, 1 (2), 139-143, con el permiso de Wiley.

también se fabrican materiales fotónicos para mejorar la captación de luz.

Los materiales termoeléctricos, que generan electricidad a partir de gradientes de temperatura, tienen aplicaciones potenciales en la recuperación del calor residual, una de las principales fuentes de pérdida de energía del planeta. La RL1 se centra en descubrir nuevos materiales termoeléctricos con el objetivo de conseguir mejores eficiencias. Las dos principales estrategias son disminuir la conductividad térmica de semiconductores inorgánicos altamente dopados, mediante su nanoestructuración, o bien aumentar la conductividad eléctrica de materiales orgánicos añadiendo materiales conductores de carbono, como grafeno o nanotubos.

El desarrollo de baterías es decisivo para la electrificación del transporte y para el progreso de las energías renovables. Las baterías de ion-Na son más sostenibles y deberían tener un rendimiento comparable a las de ion-Li a un coste más bajo. Otra alternativa sería usar ánodos de Li metálico, u otros que puedan transferir más de un electrón (Zn, Mg o Ca). El calcio parece prometedor, por su abundancia y bajo coste. La RL1 investiga diferentes configuraciones de cátodos y ánodos que podrían superar el rendimiento de la tecnología ion-Li.

Durante sus más de 30 años de historia, el Instituto ha generado una gran cantidad de materiales prometedores para su uso en las aplicaciones energéticas del futuro. Este catálogo de materiales incluye desde materiales organometálicos (como el ZIF-8), que podrían usarse para la captura de CO<sub>2</sub> o el almacenamiento de H<sub>2</sub>, hasta nuevos catalizadores basados en boro u oxinitruros, alótros-

pos de carbono (grafeno, fullerenos, nanotubos) de alta calidad, morfología controlada y buenas propiedades eléctricas, así como aerogeles porosos y biopolímeros de una conductividad térmica extraordinariamente baja, funcionalizados con nanopartículas. La RL1 también participa en la mejora de la eficiencia energética mediante la producción de materiales emisores de luz para tecnologías LED o el desarrollo de nuevas tecnologías para la electrónica de bajo consumo. Los estudios teóricos, que incluyen dinámica analítica, *ab initio* y molecular, dan soporte y son una guía en el desarrollo de nuevos materiales flexoeléctricos, ferroeléctricos, termoelectrónicos y fotovoltaicos.

**RL2 - Superconductores para aplicaciones en energía**

Esta línea, compuesta por 12 investigadores de un mismo grupo de investigación, persigue desarrollar ideas novedosas en el campo de los materiales superconductores. Los principales objetivos son adquirir los conocimientos fundamentales para alcanzar aproximarse al límite teórico de la corriente de ruptura de pares, poder integrar los materiales superconductores en dispositivos, y personalizarlos para diferentes aplicaciones (imanes, limitadores de corriente, generadores...). La actividad se centra en el desarrollo de nuevas metodologías de crecimiento de láminas delgadas de superconductores a partir de soluciones químicas de bajo coste, controlando la estructura de defectos y tensiones a escala atómica, así como sus propiedades. El éxito de la estrategia seguida radica en el hecho de que los procesos que se desarrollan son fácilmente escalables y, por lo tanto, tienen un gran potencial para ser usados en dispositivos innovadores.

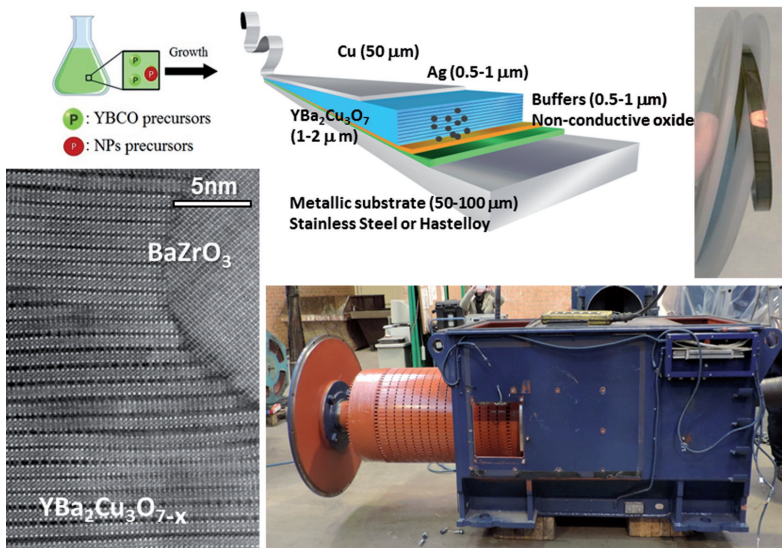
Las cintas superconductoras son estructuras multicapa epitaxiales (con la misma estructura cristalina) depositadas sobre un sustrato metálico flexible y que pueden producirse en longitud

des kilométricas. La capa superconductora es un cuprato ( $REBa_2Cu_3O_{7-x}$ , RE = Tierra Rara) de alta temperatura crítica (92 K) y 1,2  $\mu\text{m}$  de espesor por el que puede circular una altísima corriente eléctrica sin disipación. Actualmente, mediante la financiación recibida de un proyecto ERC, se está estudiando una nueva metodología de crecimiento epitaxial ultra-rápida basada en la formación de un estado líquido transitorio partiendo de precursores metalorgánicos. Esta nueva metodología debería permitir llegar a velocidades de crecimiento 100 veces superiores a las actuales y es muy atractiva, en términos de coste y escalabilidad, ya que podría ser integrada en una plataforma de manufacturación aditiva, basada en el depósito de inyección de tinta y compatible con una aproximación de química combinatoria. Esta tecnología se nutre del conocimiento adquirido en proyectos anteriores y pretende demostrar que es posible aumentar el grosor de las capas depositadas hasta valores altamente competitivos (3-5  $\mu\text{m}$ ). Para ello, el diseño de la formulación química de la solución, y la comprensión tanto de los procesos de formación del gel intermedio como de la generación de deformaciones a la nanoescala en el superconductor están siendo aspectos cruciales.

Para mejorar las propiedades de estos materiales, se están impulsando ideas pioneras sobre el control de la densidad de portadores y nuevas metodologías de incorporación de nanopartículas de tamaño controlado (5-10 nm) para la obtención de nanocomposites con una estructura de defectos adecuada. La complejidad estructural y física de estos materiales requiere llevar a cabo estudios complementarios en paralelo. La estructura de defectos se analiza mediante nanoscopía electrónica, teoría del funcional de la densidad y dicroísmo circular magnético de rayos X, la nucleación y el crecimiento *in situ* de las capas mediante difracción de rayos X en sincrotrón, la oxigenación del superconductor mediante medidas de relajación de la conductividad eléctrica y el estudio de las propiedades de transporte de las cintas utilizando altos campos magnéticos.

El objetivo perseguido no se limita a maximizar las prestaciones de los superconductores a temperaturas medias-altas (50-77 K) para incidir en el sector de la energía eléctrica (limitadores de corriente, cables, generadores eólicos, motores eléctricos...), sino también a convertir estos materiales en el mejor conductor para generar campos magnéticos ultra-intensos. Esto tendrá un gran impacto en la tecnología de imanes (aceleradores, resonancia magnética, fusión...). Los éxitos en la optimización de las cintas superconductoras para los distintos dispositivos han permitido a esta línea estar integrada en proyectos del programa H2020, en proyectos nacionales en colaboración con empresas y en un proyecto con el CERN. Se están investigando aplicaciones en limitadores

Fig. 5. Deposición por soluciones químicas, arquitectura de la cinta superconductora, distorsiones de la matriz de un nanocomposite, generador eólico superconductor.

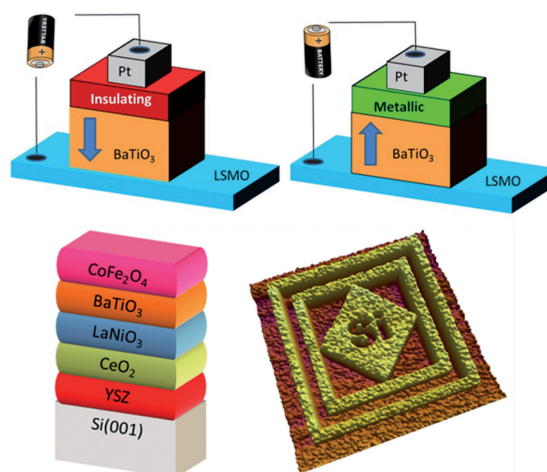


de corriente para facilitar la integración de energías renovables, generadores eólicos de mayor potencia y pantallas que eviten la incidencia de la radiación sincrotrón generada por el haz de protones en el futuro acelerador “Future Circular Collider” del CERN. Desde un punto de vista más exploratorio, otra temática es el estudio de óxidos complejos con posibilidades de actuar como memorias no volátiles resistivas o magnéticas. La diversidad de objetivos y metodologías utilizadas hace que la línea de investigación se articule en base a una gran interdisciplinariedad de sus investigadores, una elevada internacionalización y una especial atención a las acciones de transferencia de conocimiento.

### RL3 – Electrónica, almacenamiento de datos y comunicaciones con óxidos multifuncionales

La línea de investigación RL3, en la que participan actualmente 19 investigadores con sus grupos de investigación y cuenta con un proyecto ERC, coordina las actividades de I+D relacionadas con la física fundamental de los materiales basados en óxidos, así como su aplicación en dispositivos. Los óxidos, principalmente de metales de transición, muestran una gran variedad de propiedades con gran interés científico y tecnológico gracias a sus fuertes interacciones entre cargas, sus orbitales electrónicos, espines y grados de libertad estructurales. Los óxidos pueden mostrar un orden magnético y ser útiles para el almacenamiento de datos magnéticos o en comunicaciones ópticas; pueden ser ferroeléctricos y ser de gran interés como actuadores o dispositivos de almacenamiento de carga; o pueden ser conductores eléctricos y transparentes y ser de gran interés en aplicaciones fotovoltaicas o pantallas planas. Muchos óxidos tienen estructuras similares y son modulables, permitiendo así un buen ajuste de sus propiedades a través de sustituciones químicas, o mediante parámetros externos (la luz, campos eléctricos o magnéticos, campos de deformación...), ampliando así su rango de interés y aplicaciones. Los investigadores de la RL3 tienen una larga trayectoria, experiencia y reconocimiento internacional en estos campos estratégicos.

La línea RL3 tiene como objetivo coordinar y potenciar todavía más el impacto de este conocimiento hacia una electrónica inteligente y sostenible, tal y como lo exigen las necesidades sociales actuales (UE H2020). Dentro de este amplio objetivo se han seleccionado algunos objetivos estratégicos que deberían permitir lograr un aún mayor impacto científico y aumentar la visibilidad de la RL3 en el contexto internacional: (i) Desarrollar memorias magnéticas energéticamente más eficientes y con mayor densidad de información, explorando nuevos materiales y nuevas formas de escritura/lectura de datos. Esto incluye, por ejemplo, el control eléctrico de dispositivos magnéti-



**Fig. 6.** Uniones túnel ferroeléctricas; Integración monolítica de heteroestructuras epitaxiales ferromagnéticas y ferroeléctricas sobre silicio. Imagen superior adaptada de *Adv. Electron. Mater.* 2016, 2, 1600368. Imagen inferior reproducida bajo licencia “Creative Commons Attribution 4.0 International License” de *Sci. Rep.* 2016, 6, 31870.

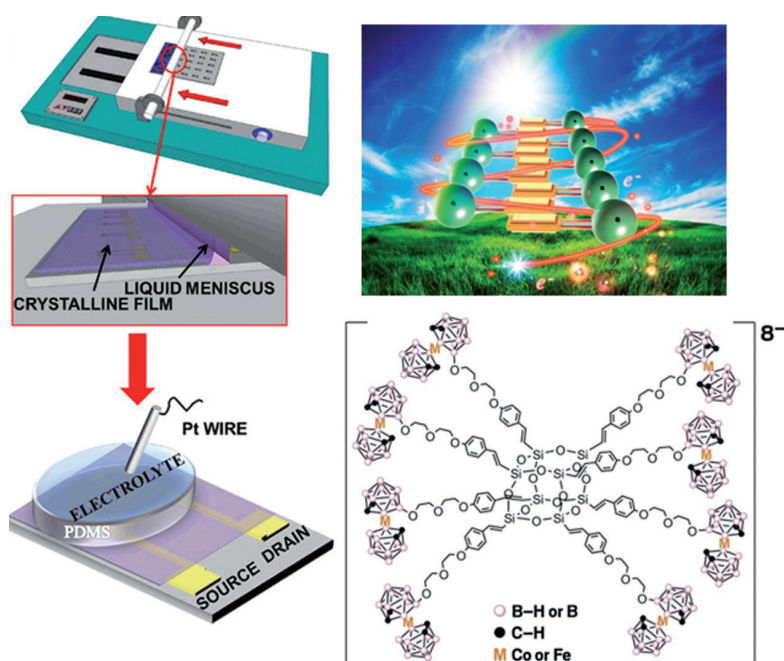
cos o la explotación de corrientes puras de spin. (ii) Aumentar la seguridad en el almacenamiento de datos magnéticos, explorando materiales alternativos a los tradicionales. (iii) Implementar materiales polares para almacenamiento y computación de datos en plataformas tecnológicas. (iv) Explorar los materiales polares para la captación de luz solar. (v) Integrar los óxidos ferríticos (ferromagnéticos, ferroeléctricos y ferroelásticos) en sistemas fotónicos y plasmónicos, y en sistemas en chip.

El progreso en estas direcciones se basa en dos pilares, por un lado, en la preparación de materiales y fabricación de dispositivos y, por otro, en el desarrollo y aplicación de herramientas adecuadas para el diseño y caracterización de materiales. Estas técnicas incluyen la deposición por láser pulsado, la deposición por solución química, la microscopía electrónica de transmisión, la difracción de neutrones y de rayos X, así como técnicas de caracterización avanzada con radiación sincrotrón. En resumen, las actividades científicas de RL3 cubren un amplio espectro de materiales y propiedades de interés fundamental en materia condensada, al tiempo que abordan cuestiones clave y desafiantes en la búsqueda de una electrónica más eficiente, duradera, limpia y de bajo consumo.

### RL4 – Electrónica molecular

Las actividades de la RL4, con 19 investigadores y sus grupos de investigación, se realizan con el apoyo de diferentes proyectos europeos del programa H2020, tres ERC y también de proyectos industriales. Esta línea se centra en el diseño, síntesis y caracterización de nuevos sistemas electroactivos, basados en el uso de materiales moleculares multifuncionales. En particular, hay un gran interés en las propiedades electrónicas y magnéticas de estos materiales, que podrían usarse como componentes activos de dispositivos para codificar información. Por otro lado, los investigadores de esta línea están también muy involucrados en el campo de la electrónica orgánica y su escalabili-





**Fig. 7.** Transistores orgánicos de efecto campo capaces de operar en agua para su explotación como sensores; Moléculas radicales de alto interés dentro del campo de la espintrónica; Compuestos de boro electroactivos. Imagen de la izquierda reproducida bajo licencia Creative Commons "Attribution 4.0 International License" de *Sci. Rep.* 2016, 6, 39623. Imagen superior derecha reproducida de *Cryst. Eng. Comm.* 2017, 19, 197-206, con el permiso de la Royal Society of Chemistry. Imagen inferior derecha adaptada de *Inorg. Chem.* 2016, 55 (22) 11630-11634.

dad y fabricación en grandes áreas. Su interés no es sólo investigar los aspectos fundamentales que tienen estos materiales, como la correlación entre su estructura y sus propiedades, sino también desarrollar nuevos procedimientos para fabricar dispositivos flexibles y de bajo coste.

A nivel nanoscópico, un campo de investigación se centra en los nano-transistores eficientes a temperatura ambiente, cuya implementación va a tener un profundo impacto en un amplio espectro de campos científicos y tecnológicos y, por lo tanto, en la sociedad. Otro tipo de dispositivo molecular que se está investigando son los conmutadores moleculares por donde las moléculas electroactivas convierten un voltaje aplicado en una señal magnética, eléctrica u óptica. La RL4 está actualmente también involucrada en el desarrollo de transistores orgánicos de efecto campo, y sensores químicos y físicos. En los últimos años, se han hecho grandes esfuerzos en el procesamiento de semiconductores orgánicos para preparar películas cristalinas recubriendo grandes áreas sobre sustratos flexibles y en su implementación práctica en dispositivos. También se investigan materiales extremadamente sensibles a la temperatura, la tensión y la humedad a partir de películas de una sal orgánica conductora. Los materiales basados en agregados de boro, con propiedades redox modulables y capaces de ensamblarse con otras especies químicas o biológicas, se investigan como sensores para la genética, en polímeros conductores y como estructuras captadoras o liberadoras de electrones, altamente solubles y térmicamente estables.

En el diseño de dispositivos orgánicos conceptualmente nuevos surgen muchos retos relacionados con problemas de intercara entre las capas funcionales, que requieren el conocimiento de las

propiedades estructurales a las escalas molecular y nanoscópica. Las superficies y las intercara son de vital importancia para el transporte eléctrico. Para poder caracterizarlas y determinar el rendimiento de los dispositivos (como los transistores de película delgada) se emplean técnicas como la microscopía de sonda de barrido de efecto túnel o de fuerza atómica, que permiten correlacionar las propiedades estructurales, composicionales y electrónicas entre sí. También se emplean técnicas espectroscópicas y ópticas avanzadas (Raman, fotoluminiscencia y elipsometría) para investigar el comportamiento foto-físico de los polímeros semiconductores y otros materiales moleculares, ya que se pueden correlacionar con las propiedades estructurales, tales como la orientación molecular o el polimorfismo. Este nexo nos permite establecer métodos de preparación de materiales en lámina delgada. Los cálculos teóricos son también una parte muy importante en todos los temas de la línea ya que permiten entender los mecanismos de transporte y correlacionar las propiedades observadas con las estructuras moleculares y cristalinas.

#### RL5 - Biomateriales multifuncionales nanoestructurados

El objetivo estratégico de esta línea de investigación, que cuenta con 18 investigadores y un proyecto ERC, es contribuir con nuevos materiales funcionales a dos de los retos más trascendentales a los que se enfrenta actualmente la nanomedicina: la necesidad de nano-agentes inteligentes para terapia y diagnóstico (teragnosis), y la regeneración eficiente de tejidos. Los grupos con actividades en esta línea tienen una dilatada experiencia en el desarrollo de nanomateriales para estas aplicaciones y, también, cuentan con el soporte de la ICTS NANBIOSIS, para la producción y caracterización de nanopartículas, biomateriales y sistemas en biomedicina.

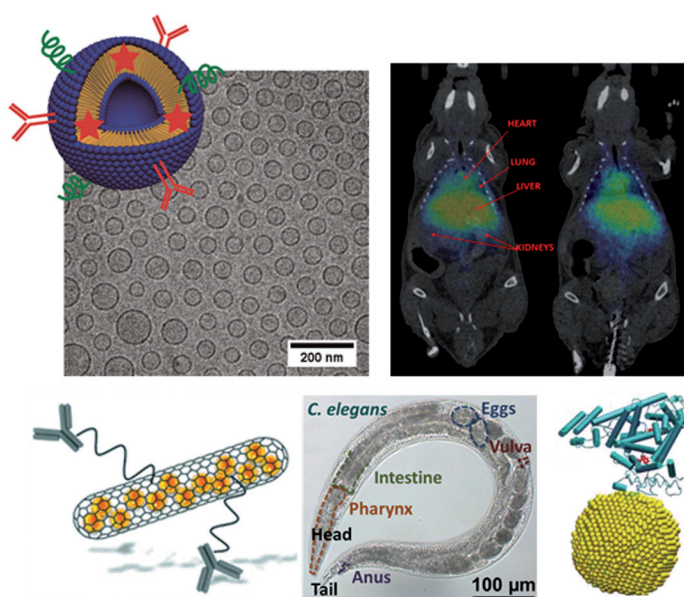
Una actividad ya muy consolidada en la preparación de nanopartículas, materiales porosos, nanovesículas y nanoconjugados multifuncionales para la vehiculización y administración de fármacos, es el uso de  $\text{CO}_2$  a presiones elevadas como solvente. Concretamente, el desarrollo de estas nanovesículas ha conducido a nuevas nanomedicinas diseñadas para el tratamiento de enfermedades de deficiencia lisosomal, y se están comercializando para la cura de úlceras. Por otra parte, las nanovesículas también pueden incorporar marcadores fluorescentes o moléculas magnéticas (radicales) para su empleo como agentes de contraste en técnicas de imagen (ópticas y magnéticas). Este procesado permite disminuir de forma considerable el uso de disolventes orgánicos (tóxicos) avalando la esterilidad de los nanomateriales resultantes, lo que los hace muy atractivos para la fabricación de biomateriales. Mediante otras tecnologías, se desarrollan tam-

bién nuevos hidrogeles, que permitan el uso de soportes moleculares 2D y 3D para la activación de células T en inmunoterapias contra el cáncer, y capas conductoras poliméricas bioactivas, que son ultrasensibles a la deformación y a los cambios de temperatura, lo que permite su uso en sensores biomédicos de detección de constantes humanas vitales, como presión, o temperatura.

Cabe destacar que la línea RL5 tiene una amplia actividad científica en compuestos de boro, que permiten la fabricación de nuevos nanomateriales multifuncionales puramente inorgánicos o híbridos (dendrimeros, nanopartículas, vesículas, nanotubos de carbono, óxido de grafeno...) con el objetivo de conseguir compuestos inteligentes multifuncionales, pudiendo actuar simultáneamente en diferentes terapias (termoterapia, fototerapia) para tener los mismos efectos terapéuticos pero utilizando menores dosis. El uso de otros materiales inorgánicos basados en el grafeno, nanotubos de carbono o nanopartículas magnéticas ofrece posibilidades sin precedentes en el campo de la imagen biomédica y/o la terapia vectorizada y, aprovechando las sinergias entre el carbono y los compuestos inorgánicos, se consiguen materiales híbridos con propiedades nuevas o mejoradas. Se pretende así la obtención de materiales inorgánicos biocompatibles por métodos sencillos y escalables.

En el ámbito de la regeneración de tejidos, la línea aborda varias estrategias dependiendo de la especificidad de cada tejido. En términos de terapia regenerativa, el Instituto trabaja con recubrimientos de materiales electroactivos nanoestructurados (híbridos de óxido de iridio-grafeno y bicapas de polímeros conductores con biomoléculas) para electrodos de electroestimulación del sistema neuronal. A diferencia de los efectos negativos de los electrodos capacitivos de platino, con estos nuevos materiales es posible ofrecer un aumento de la capacidad de carga y realizar electroestimulación que genera la reparación neuronal *in vitro*. Se están realizando asimismo ensayos *in vivo* y en cerebro explantado. Para enfrentarnos a la reparación vascular se propone el uso de superficies biofuncionalizadas, basadas en moléculas bioestables persiguiendo la organización de factores de crecimiento de una manera biomimética, y así poder comprender y controlar los estímulos que dirigen el comportamiento celular. Además, también se trabaja con materiales supramoleculares y poliméricos, así como en sistemas de microfluídica. Finalmente, para promover neuroreparación después de un ictus-isquémico, se están estudiando terapias pro-angiogénicas a partir de la liberación de factores de crecimiento encapsulados en nanocápsulas magnéticas biodegradables.

Cabe destacar la creciente experiencia en el uso de modelos *in vivo* simples, en particular el *Cae-*



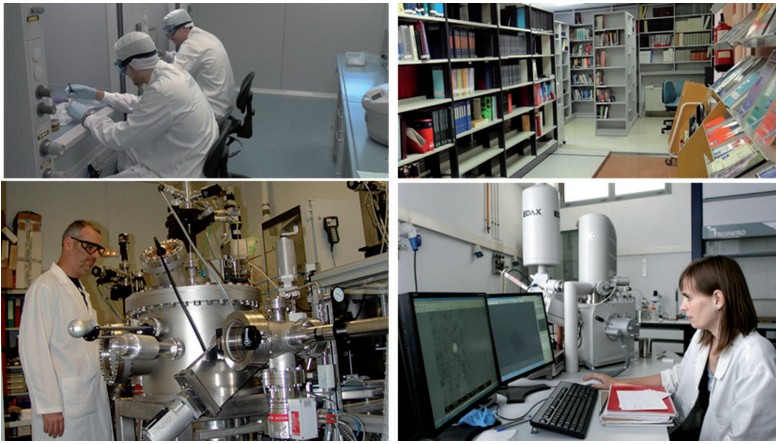
*norhabditis elegans*, que pueden ser extremadamente útiles para una evaluación biológica inicial de los nanomateriales que desarrollamos. Esencial es también la actividad dirigida a los estudios teóricos y la simulación de procesos biológicos que permite realizar simulaciones atómicas que proporcionan una comprensión molecular de observaciones experimentales y los mecanismos de interacción (autoensamblaje de materiales, interacción de biomoléculas con materiales...). Los éxitos de los últimos años han permitido estar integrados en varios proyectos competitivos del programa H2020, así como en un número elevado de proyectos en colaboración con empresas.

### Recursos científicos

Para entender como son los materiales, como funcionan y como se pueden mejorar sus propiedades para adaptarlos a dispositivos con altos rendimientos, el Instituto cuenta con los Servicios Científicos que disponen de equipos, para la caracterización avanzada de materiales, y que desarrollan continuamente nuevas herramientas, tanto experimentales como teóricas. La instrumentación y la experiencia del personal técnico, junto con la supervisión científica de los investigadores, asegura una alta calidad en la caracterización e interpretación de los datos. Los servicios incluyen la determinación del comportamiento magnético, microscopía electrónica de transmisión y de barrido, técnicas espectroscópicas, análisis térmico, deposición de láminas delgadas, difracción de rayos X, etc. El Instituto también cuenta, desde 2007, con la plataforma Nanoquim, una sala blanca de 200 m<sup>2</sup> especializada en materiales nanoestructurados, con control de temperatura, humedad y presión, que incluye cinco laboratorios especializados en técnicas de litografía óptica y de caracterización, así como de crecimiento de nanomateriales, con más de 40 equipos diferentes.

**Fig. 8.** Nanovesículas funcionales preparadas con CO<sub>2</sub>, compuestos de boro como plataforma de imagen molecular, nanocápsulas de nanotubos de carbono, evaluación de nanopartículas en *C. elegans*, modelos teóricos para el recubrimiento de nanopartículas con proteínas. Imagen superior izquierda reproducida de *Chem. Soc. Rev.* 2016, 45, 6520-6545, superior derecha de *Chem. Commun.* 2014, 50, 11415-11417 y inferior izquierda de *Nanoscale* 2016, 8, 12626-12638, con el permiso de la Royal Society of Chemistry. Imagen inferior derecha adaptada de *Nanoscale* 2016, 8, 14393-14405.





**Fig. 9.** Plataforma Nanoquim; Biblioteca; Equipo de deposición por láser pulsado; Equipo de microscopía electrónica de barrido.

La continuidad de la inversión de fondos públicos, así como el compromiso de los diferentes grupos de investigación, hacen posible que los Servicios Científicos sean competitivos y de gran calidad, estando a disposición de los investigadores del Instituto, así como de científicos externos e industrias colaboradoras.

La tremenda riqueza científica y la sinergia de una experiencia diversa pero complementaria dentro de cada una de las líneas de investigación del ICMAB, los fuertes vínculos y colaboraciones permanentes con grandes instalaciones (dentro y fuera del campus científico de la UAB-CEI) como el ICN2, el CNM-IBM, el sincrotrón ALBA o el Laboratorio de Microscopías Avanzadas de Zaragoza, y la participación en la plataforma NFFA, especial para síntesis y caracterización de nanomateriales, garantizan la capacidad de abordar complejos retos y son claves para el avance tecnológico. Además, la cooperación cada vez más estrecha entre las distintas RLs estimula a los investigadores a explorar nuevas oportunidades en áreas que apenas se podían imaginar hace unos años.

El Instituto también dispone de una biblioteca especializada en Ciencia de Materiales, que forma

**Fig. 10.** Carteles para “Scientific meeting of PhD Students”; Curso de verano de materiales para aplicaciones biomédicas; Workshop de caracterización de materiales por métodos de difracción.



parte de la red de bibliotecas del CSIC, y de las instalaciones necesarias para seminarios y otros eventos. Desde el 2016, el centro también cuenta con aproximadamente 500 m<sup>2</sup> de laboratorios y despachos en un edificio anexo, procedentes de la alianza público-privada MATGAS, que involucra Air Products, la UAB y el ICMAB.

### Formación

Más de la mitad de la plantilla del Instituto son investigadores en formación, ya sea en la fase predoctoral o en la postdoctoral, así como estudiantes de grado y de máster, que escogen el ICMAB para hacer sus trabajos de fin de estudios, dentro de diferentes programas universitarios. El Instituto forma cerca de 18 doctores al año, con más de 230 tesis leídas en 30 años. Una tercera parte de estos jóvenes doctores encuentran su destino profesional en la industria. Cabe destacar que aproximadamente un 17 %, después de postdoctorados en destacados centros de investigación extranjeros, regresan al ICMAB como investigadores.

El Instituto ofrece seminarios científicos semanalmente que complementan los seminarios específicos/temáticos organizados por las distintas RLs. El centro organiza también cursos de interés para los investigadores, como inglés científico, creación de patentes o spin-offs y ofrece su soporte para la realización de Fóruns de Doctorandos. Por otra parte, se organizan workshops y escuelas de verano, cuya función es tanto crear fóruns de discusión internos, que generen nuevas sinergias colaborativas, como actualizar conocimientos científicos y técnicos. Algunos ejemplos son los workshops en “Self-Assembly”, “Materials characterisation by diffraction methods” y “Materials for Biomedical Applications”.

### Transferencia de conocimiento, comunicación y divulgación

La transferencia de conocimiento, la comunicación y la divulgación completan la misión y el compromiso del ICMAB con la sociedad. El Instituto cuenta con la Unidad de Transferencia de Tecnología, creada en 1997, que con la ayuda del PRUAB se encarga de negociar los contratos de I+D con las empresas, dar soporte en la creación de patentes y de spin-offs, así como de la promoción general de los Servicios Científicos del centro, además de promocionar los resultados de la investigación con actividades de comunicación. Actualmente, el Instituto tiene 4 patentes activas, todas de 2016; las anteriores están licenciadas a otras empresas, a las spin-offs del mismo centro, o no han conseguido evolucionar. En cuanto a los proyectos con empresas, a día de hoy hay 14 de vigentes: 5 de apoyo tecnológico, 4 de I+D con empresas, 1 de contrato de licencia de patente y 4 con instituciones internacionales.



La web del Instituto obtuvo el cuarto puesto en el ranking del CSIC y también está presente en las principales redes sociales. En divulgación, una actividad pionera es la llamada “Trae un investigador a tu aula”, donde investigadores se presentan en las aulas de los institutos de secundaria, permitiendo acercar los científicos a los jóvenes, rompiendo así la barrera que pueda haber entre su día a día y la actividad científica en un centro de investigación. Esta iniciativa ganó el premio *Reach.Out!* en la conferencia E-MRS Spring 2014. A parte de eso, el centro recibe cada año visitas de estudiantes de bachillerato, participa en la escuela de verano Argó y en el programa “Locos por la Física” para jóvenes, en el programa FUB+GRAN para mayores de 55 años y en programas de formación de profesorado. El Instituto también participa en varios festivales y ferias (Festival de Nanociencia y Nanotecnología 10alamos9, YoMo (Youth Mobile), el Salón de la Enseñanza...), y colabora en actividades del CSIC (Inspiraciencia, Fotciencia...), así como en el Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia (en el 2017 con la lectura teatralizada *Madame Châtelet y sus segui-*



**Fig. 11.** Divulgación en el concurso INSPIRACIENCIA, en el YoMo, en el programa de “Locos por la ciencia!”, en el programa FUB+GRAN, en el Festival de la Nanociencia y la Nanotecnología 10alamos9; Visita de un Instituto de Educación Secundaria al ICMAB.

*doras en Instagram*, que repasa la vida y obra de varias científicas).