



**IMDEA Energía: Investigación
para el desarrollo de una
energía sostenible**

**IMDEA Energy: Research
for a Sustainable Energy
Development**



Investigación para el desarrollo de una energía sostenible

La misión de este instituto es contribuir al desarrollo de tecnologías energéticas novedosas, eficientes y limpias, facilitando la transición hacia un sistema energético con baja huella de carbono

La red de Institutos Madrileños de Estudios Avanzados (IMDEA) fue creada por el Gobierno Regional de la Comunidad de Madrid en 2007 para reforzar y dinamizar el sistema de I+D+i de esta región. Tras 15 años de desarrollo, y superando primero los fuertes efectos de la crisis económica mundial y, recientemente de la pandemia del COVID19, los Institutos IMDEA se han posicionado como un referente internacional en sus respectivos campos.

En el caso de IMDEA Energía, su misión es contribuir al desarrollo de tecnologías energéticas novedosas, eficientes y limpias, facilitando la transición hacia un sistema energético con baja huella de carbono. IMDEA Energía es una fundación del sector público, que se caracteriza por tener un sistema de gestión moderno y flexible, siendo la excelencia científica, el impacto internacional y la cooperación con la industria los principales motores de sus actividades.

El Programa Científico de IMDEA Energía aborda una serie de temas de gran relevancia económica y social: energía solar, combustibles sostenibles, hidrógeno, dispositivos de almacenamiento de energía, gestión inteligente de la demanda eléctrica, sistemas y procesos energéticos con mayor eficiencia y valorización de las emisiones de CO₂. El análisis y la evaluación de la sostenibilidad de las tecnologías energéticas, atendiendo a sus impactos social, ambiental y de viabilidad techno-económica, es otra de las áreas relevantes de actividad del Instituto. A lo largo de los años se han ido creando nuevas líneas de investigación, reforzando la conexión del campo energético con la problemática medioambiental y el desarrollo de nuevos materiales con propiedades avanzadas.

La sede de IMDEA Energía está ubicada en un edificio de nueva construcción en el Parque Tecnológico de Móstoles (Madrid), dotado de sistemas energéticos de alta eficiencia, habiendo sido galardonado con el certificado LEED Oro, reconocimiento internacional de gran prestigio para edificios con un mínimo impacto ambiental. Asimismo, la disponibilidad de sofisticados equipos de laboratorio, así como de singulares infraestructuras de plantas piloto, permite desarrollar las actividades de investigación a un excelente nivel.

Los investigadores de IMDEA Energía incluyen expertos con una gran variedad de formaciones y especializaciones como ingeniería de la energía, eléctrica y química, física, biología, biotecnología, química, bioquímica y ciencias ambientales, entre otras. Por tanto, el Instituto



David Serrano
Director de IMDEA Energía
Director of IMDEA Energy

Research for a Sustainable Energy Development

The mission of IMDEA Energy Institute is to contribute to the development of novel, efficient and clean energy technologies, thus supporting the transition towards a low-carbon energy system

The network of Madrid's Institutes for Advanced Studies (IMDEA) was created by the Regional Government of "Comunidad de Madrid" in 2007 to reinforce and dynamize the R&D&I system of this region. After 15 years of development, and overcoming first the strong effects of a world economic crisis and just recently of the COVID19 pandemic, the IMDEA Institutes have been positioned as an international reference in their respective fields.

The mission of IMDEA Energy Institute is to contribute to the development of novel, efficient and clean energy technologies, thus supporting the transition towards a low-carbon energy system. IMDEA Energy is a foundation of the public sector, featured by having a modern and flexible management system, whereas scientific excellence, international impact and cooperation with industry are the key drivers of its activities.

The Scientific Program of IMDEA Energy addresses a number of topics of high economic and social relevance: solar energy, sustainable fuels, hydrogen, energy storage devices, smart management of electricity demand, energy systems with enhanced efficiency and valorization of CO₂ emissions. The analyses and the assessment of the sustainability of the energy technologies, attending to its social, environmental and techno-economic viability impacts, is another relevant area of activity of the Institute. Along the years, new research lines have been created reinforcing the connection of the energy field with environmental issues and the development of novel materials with advanced properties.

The headquarters of IMDEA Energy are located in a new building in the Technological Park of Móstoles (Madrid), provided with high efficiency energy systems, having been awarded with the Gold LEED certificate, which is a highly reputed international recognition for buildings with a minimum environmental impact. Likewise, the availability of sophisticated lab equipment, as well as of singular pilot plant infrastructures, allows the research activities to be performed on a very high level.

The researchers of IMDEA Energy include experts with a great variety of backgrounds and specializations like energy, electrical and chemical engineering, physics, biology, biotechnology, chemistry, biochemistry and environmental science, among others. This provides the Institute with a highly qualified and multidisciplinary

cuenta con un equipo de científicos altamente cualificado y multidisciplinar para acometer el estudio de sistemas energéticos complejos.

Durante 2020, IMDEA Energía fue galardonado con la prestigiosa acreditación “Maria de Maeztu” otorgada por el Ministerio de Ciencia e Innovación de España a unidades de investigación de excelencia con un destacado posicionamiento internacional. IMDEA Energía ha sido el primer centro de investigación en energía que, en su conjunto, ha entrado en el programa “Severo Ochoa / Maria de Maeztu”.

Este importante reconocimiento es el resultado de una serie de logros relevantes de IMDEA Energía durante los últimos 15 años, como se refleja en los siguientes indicadores:

- Un total de 230 investigadores, procedentes de una gran diversidad de países, han formado parte de la plantilla de IMDEA Energía. Además, se han recibido en el Instituto a 128 investigadores visitantes.

team of scientists to undertake the study of complex energy systems.

During 2020, IMDEA Energy was awarded with the prestigious accreditation “Maria de Maeztu” given by the Spanish Ministry of Science and Innovation to excellent research units with an outstanding international position. In fact, IMDEA Energy has been the first energy research center that, as a whole, entered into the “Severo Ochoa / Maria de Maeztu” program.

This important recognition is a result of a number of relevant achievements of IMDEA Energy during the past 15 years, as reflected in the following selected indicators:

- A total of 230 researchers from a large diversity of nationalities have been working as staff of IMDEA Energy. In addition, 128 visiting researchers have been hosted at the Institute.



- El éxito en la presentación y aprobación de propuestas ha permitido que un total de 260 proyectos de investigación hayan estado activos durante este periodo. Asimismo, investigadores y técnicos del centro han sido galardonados con 86 ayudas de personal. La disponibilidad de estos recursos económicos ha hecho posible que se alcancen niveles de autofinanciación superiores al 50% del presupuesto total del Instituto.
- Hasta el momento se han desarrollado 40 proyectos internacionales. Entre ellos, cabe destacar la coordinación por IMDEA Energía de 8 proyectos colaborativos, así como que se hayan concedido a investigadores del instituto 6 prestigiosas ayudas del Consejo Europeo de Investigación (ERC).
- La intensa colaboración que se ha mantenido con el sector industrial queda reflejada en la participación de empresas en la mayoría de los proyectos, así como en el establecimiento de unos 120 contratos de investigación con el sector privado. Asimismo, en relación con la transferencia de tecnología, el Instituto ha presentado un total de 20 patentes.
- La formación de jóvenes investigadores y técnicos ha sido también uno de los principales objetivos de IMDEA Energía, con un total de unos 400 estudiantes habiendo colaborado con nosotros mediante la realización de prácticas o del trabajo final de grado/máster. Además, se han defendido 44 tesis doctorales desarrolladas en nuestras instalaciones.
- También se han obtenido resultados científicos muy destacables, con más de 1.000 trabajos científicos publicados en revistas de alto impacto y unas 1.100 comunicaciones presentadas en congresos científicos. Asimismo, los investigadores de IMDEA Energía han participado en una amplia variedad de acciones de divulgación científica, como conferencias invitadas, masters y jornadas técnicas.
- Entre los diferentes premios y distinciones recibidos, cabe destacar el premio Energy Globe en la categoría FIRE, tanto a nivel nacional como mundial, otorgado en 2021 al proyecto Sun-to-Liquid, en el que IMDEA Energía tuvo un papel relevante.
- El Ranking de la Universidad de Stanford, que identifica a los científicos más influyentes y que se publica cada dos años, ha incluido en su última edición a 10 científicos de nuestro Instituto dentro del top2% a nivel mundial.

Estos destacados resultados y logros han sido posibles gracias al compromiso entusiasta y la gran dedicación del personal de IMDEA Energía (investigadores, técnicos y personal de administración/gestión), así como al apoyo continuado del Patronato, el Consejo Científico y el Gobierno Regional de la Comunidad de Madrid.

- The success in the submission and approval of proposals have led to a total of 260 research projects being active during this period. Likewise, scientists and technicians have been awarded with 86 personnel grants. The availability of these financial resources has allowed reaching self-funding ratios over 50% of the whole Institute budget.
- 40 international projects have been developed so far. Among them, it must be highlighted that 8 collaborative projects have been coordinated by IMDEA Energy, whereas 6 ERC grants have been awarded to researchers of the institute.
- The strong collaboration with the industry is reflected by the participation of companies in most of the projects, as well as by the establishment of about 120 research contracts with the private sector. Likewise, related with technology, transfer the Institute has filed a total of 20 patents.
- Training of young researchers and technicians has been also a major goal of IMDEA Energy, with a total of about 400 students collaborating with us in the form of internships or developing in our facilities the final degree/master project. Moreover, 44 Ph.D. Thesis have been defended.
- Remarkable scientific results have been also obtained, with more than 1,000 scientific works published in high impact journals and about 1,100 communications presented in scientific congresses. Likewise, IMDEA Energy researchers have participated in a wide variety of science dissemination actions, such as invited lectures, masters and technical seminars.
- Among the different awards and distinctions received, it is worth to highly the Energy Globe award, in the Fire category at both national and world level, given in 2021 to the Sun-to-Liquid project, in which IMDEA Energy played a relevant role.
- The ranking of the Stanford University, which identifies the most influential scientists and is published every two years, has listed in its last edition 10 scientists of our Institute within the top2% worldwide.

These outstanding results and achievements have been possible thanks to the enthusiastic commitment and strong dedication of the IMDEA Energy personnel (researchers, technicians and administrative/management staff) as well as to the continuous support received from the Board of Trustees, the Scientific Council and the Regional Government of "Comunidad de Madrid".



Una nueva generación de materiales para la producción de hidrógeno verde Towards the next-generation materials for green hydrogen production

Autor.- Patricia Horcajada. Investigadora Senior/Jefa de Unidad. Unidad de Materiales Porosos Avanzados. IMDEA Energía.

Con una formación claramente interdisciplinar, que incluye una Licenciatura y Máster en Farmacia (Universidad Complutense de Madrid, 2001 y 2003) junto con un Doctorado dedicado al desarrollo de nuevos materiales porosos para sustitución ósea (Universidad Complutense de Madrid, 2005), tuve clara mi pasión por la ciencia al realizar una estancia postdoctoral en el Institut Lavoisier de Versailles (Francia). Inicialmente prevista por un año, mi estancia en Francia se prolongó a más de 10 años gracias a la obtención de una plaza de investigadora titular en el consejo científico francés (Centre National de la Recherche Scientifique, CNRS), la cual aún conservo. Mi investigación durante este periodo cubrió no sólo la **preparación de nuevos materiales multifuncionales** sino su aplicación en diversos campos, como la separación de fluidos, la catálisis o la biomedicina. Pese al excelente entorno, pude reincorporarme a la ciencia española en 2016 gracias a una ayuda Ramón y Cajal (2016-2021) y a la Fundación IMDEA Energía, que creó una nueva unidad de investigación, la "Unidad de Materiales Porosos Avanzados (UMPA)", que dirijo desde entonces.

Nuestra unidad, que cuenta ya con una veintena de personas de variado perfil (química, ingeniería, física, biología, farmacia), es la prueba del éxito de la interdisciplinariedad. Nuestro principal objetivo es la preparación y caracterización de materiales multifuncionales con el objeto de satisfacer varias de las necesidades sociales e industriales más relevantes en la actualidad. Entre los materiales que fabricamos se encuentran las Redes Metal-Orgánicas (MOFs), perovskitas libres de plomo, carbones porosos y otros materiales compuestos. Nuestros intereses están enfocados en: 1) el desarrollo de **pilas de combustible** basadas en sólidos conductores iónicos; 2) **almacenamiento de energía** empleando materiales como electrodos para baterías y/o supercondensadores; 3) **tecnología fotovoltaica**, con materiales capaces de absorber la luz de forma segura y eficiente para paneles solares; 4) **remediación medioambiental**, estudiando la eliminación

Author.- Patricia Horcajada. Senior Researcher/Head of the Unit. Advanced Porous Materials Unit. IMDEA Energía.

With a high interdisciplinary background, including a BSc and MSc in Pharmacy (University Complutense of Madrid, 2001 & 2003) together with a PhD focussed on new porous materials for bone replacement (University Complutense of Madrid, 2005), my enthusiasm for science increased when I did a postdoctoral stay at the Institut Lavoisier de Versailles (France). Initially planned for one year, my stay in France was extended to more than 10 years, within a position as civil servant researcher at the Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), which I still hold. My research lines during this period covered not only the **preparation of novel multifunctional materials** but also their application in several fields, such as fluid separation, catalysis or biomedicine. Despite this excellent environment, I rejoined Spanish scientific system in 2016 via a Ramón y Cajal contract (2016-2021) at the IMDEA Energy Institute, which created a new research unit: the "Advanced Porous Materials Unit (APMU)".

Since then, I am leading this unit, composed of around 20 people with a very diverse profile (chemistry, engineering, physics, biology, pharmacy), which is the proof of the interdisciplinarity success. Our main objective is the preparation and characterization of multifunctional materials in order to satisfy some of the most relevant social and industrial needs today. The materials scope covers Metal-Organic Frameworks (MOFs), lead-free perovskites, porous carbons and other hierarchically structured hybrid polymeric composites. Our current interests are focused on: 1) the development of **fuel cells** based on ion conducting solids; 2) **energy storage** using materials as electrodes for batteries and/or supercapacitors; 3) **photovoltaics**, using new light harvesters to overcome the safety and efficiency limitations of solar panels; 4) **environmental remediation**, studying the removal of emergent contaminants in water and the selective fixation and conversion of CO₂ into high added-value products, such as fuels and drug precursors; 5) **bio-**

de contaminantes emergentes en aguas y la fijación y conversión selectiva de CO_2 en compuestos de alto valor añadido, como fueles o precursores de fármacos; 5) **biomedicina**, con materiales capaces de actuar como portadores de fármacos, liberando de forma inteligente la carga en el lugar adecuado (tumores, infecciones, etc.). Nuestro proyecto más reciente tiene como propósito la fabricación y el uso de nuevos materiales porosos para la generación de **hidrógeno verde** a partir del agua mediante irradiación solar.

El hidrógeno es uno de los combustibles actuales más limpios debido a su alta densidad energética, su eficiencia en la combustión, su toxicidad despreciable, la nula generación de residuos y su naturaleza renovable y almacenable. Típicamente, se obtiene de procesos como el reformado con vapor y/o la oxidación parcial de combustibles fósiles (por ejemplo, el gas natural). En esta situación, el hidrógeno se conoce como azul o gris, dependiendo de la fuente y la cantidad emitida de CO_2 , aspecto que está en contra del concepto de sostenibilidad considerando la implementación de estas tecnologías a gran escala.

El agua, esencial para la vida en el planeta, está presente en toda actividad social, económica y medioambiental. Es una de las fuentes más abundantes de la Tierra y está compuesta por átomos de hidrógeno y oxígeno. La división del agua ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$) es una de las formas más eficientes para producir H_2 , en este caso denominado verde por la ausencia de emisiones de CO_2 . Sin embargo, este proceso es energéticamente desfavorable, por lo que se hace necesario el empleo de un catalizador capaz de disminuir esa gran barrera energética.

De entre todas las rutas para la formación de H_2 a baja temperatura, **la división del agua empleando fotocatalizadores**, elementos que facilitan la reacción global gracias a la acción de la radiación solar, es la alternativa más prometedora debido a sus características sostenibles. Durante los últimos años se han propuesto gran cantidad de óxidos metálicos semiconductores como fotocatalizadores, siendo el TiO_2 el ejemplo más clásico debido a su elevada fotoestabilidad, baja toxicidad, gran abundancia y bajo coste. Desafortunadamente, el TiO_2 solo ha demostrado su utilidad bajo la radiación UV, que solo incluye el 5% de toda la radiación solar.

Las Redes Metal-Orgánicas (MOFs) son polímeros híbridos basados en unidades metálicas y ligandos orgánicos que se coordinan entre sí de forma alternada para dar lugar a una estructura cristalina y altamente porosa. Tanto su área superficial como la absorción que presentan por la luz solar pueden ser finamente controladas modificando cualquiera de las unidades que lo componen, de tal forma que la actividad fotocatalítica puede ser diseñada a la carta para maximizar sus prestaciones. En este contexto presentamos una nueva familia de MOFs conocida como Redes de IMDEA-Energía (del inglés, *IMDEA-Energy Frameworks* o IEFs).

medicine, as these materials can act as drug carriers, smartly releasing the cargo in the target site (cancer, infections, etc.). Our most recent project aims the fabrication and use of new porous materials for **green hydrogen generation** from water upon solar irradiation.

Among the currently available energy carriers, hydrogen is one of the most ideal and cleanest fuel for the future due to its high energy density, high combustion efficiency, non-toxicity, clean exhaust products, and renewable and storable nature. Hydrogen typically comes from steam reforming and/or partial oxidation of fossil fuels (for example, natural gas) and it is known as blue and grey hydrogen, depending on the source and the released amount of CO_2 , aspect that is against the current sustainable demands at large-scale implementation.

Water, essential for the live on Earth, is present in every social, economic and environmental activity. It is one of the most abundant resources on earth, composed of hydrogen and oxygen atoms. Water splitting ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$) is one of the most effective ways to produce H_2 , known as green hydrogen for the negligible amounts of CO_2 produced during the reaction. However, this process is extremely energetically demanding thus the fabrication of a convenient catalyst, capable to decrease this high energy barrier, is urgently required.

Among the various routes for H_2 generation from water at low temperature, **direct water splitting using photocatalysts**, those that promote the previous overall reaction upon solar irradiation, is the most promising alternative because of its sustainability. Several semiconductor metal-oxides have been proposed as photocatalysts, being TiO_2 the most paradigmatic example due to its good photostability, low toxicity, large abundance and low cost. Unfortunately, TiO_2 can only be used in the UV light range, which only includes 5% of all solar energy.

Metal-organic frameworks (MOFs) are hybrid polymers comprised of metal units and organic ligands that assemble the final crystalline structure together, showing potential porosity. The specific surface area and the solar light absorption of MOFs can be finely tuned by modulating the organic ligands and/or metal centers, so their photocatalytic activity can be tailored to maximize their performance. In this context, we bring into scene a new family of MOFs, named IMDEA-Energy Frameworks (IEFs) that have been specifically designed for this purpose.

IEF-11 and IEF-13 are 2D MOFs based on photo- and redox-active metal cations, i.e. titanium and nickel, respectively.^{1,2} Ligands are complex organic molecules showing a high electronic density thus providing additional electroactivity to the polymers. Both materials show an outstanding structural stability and chemical

El IEF-11 y el IEF-13 son MOFs 2D basados en cationes metálicos fotoactivos y con propiedades redox, como el titanio y el níquel, respectivamente.^{1,2} Los ligandos empleados son complejas moléculas orgánicas que presentan una alta densidad electrónica, confiriendo una electroactividad adicional a los polímeros. Ambos materiales presentan una estabilidad estructural y química sobresalientes (300-450 °C, pH = 0-12) y una absorción del rango visible del espectro electromagnético excelente, coincidiendo con la máxima irradiación de la luz solar. Estos dos fotocatalizadores se obtienen fácilmente en la escala de gramo de forma reproducible y con una elevada cristalinidad, aspecto crítico para su actividad fotocatalítica. Además, muestran la mayor producción de H₂ alcanzada hasta la fecha por distintos materiales MOF u otros semiconductores, incluso en ausencia de metales nobles y otros co-catalizadores, manteniendo inalterada su estructura cristalina tras varios ciclos catalíticos.

Las propiedades observadas en ambos materiales los convierten en candidatos óptimos para la generación de H₂ a gran escala, allanando

robustness (300-450 °C, pH = 0-12) and an excellent light absorption in the visible range, matching the maximum irradiation of solar light. These two photocatalysts can be easily obtained in the gram scale in a reproducible manner and with a high crystallinity, essential for its photocatalytic performance. Besides, they show the highest H₂ production rates achieved to date using different MOFs or other semiconducting photocatalysts, even in the absence of noble metals or other co-catalysts and maintaining the crystal structure after several catalytic cycles.

The features observed for both materials convert them into promising candidates for large-scale H₂ generation, paving the way for the new green hydrogen production materials. The ease of preparation and their large absorption in the visible range of solar spectrum enable their implementation in conventional glass devices and solar panels, avoiding the use of quartz (essential for other UV-absorptive mature semiconductors, such as TiO₂), thus allowing considerable cost reductions in prototype fabrication.

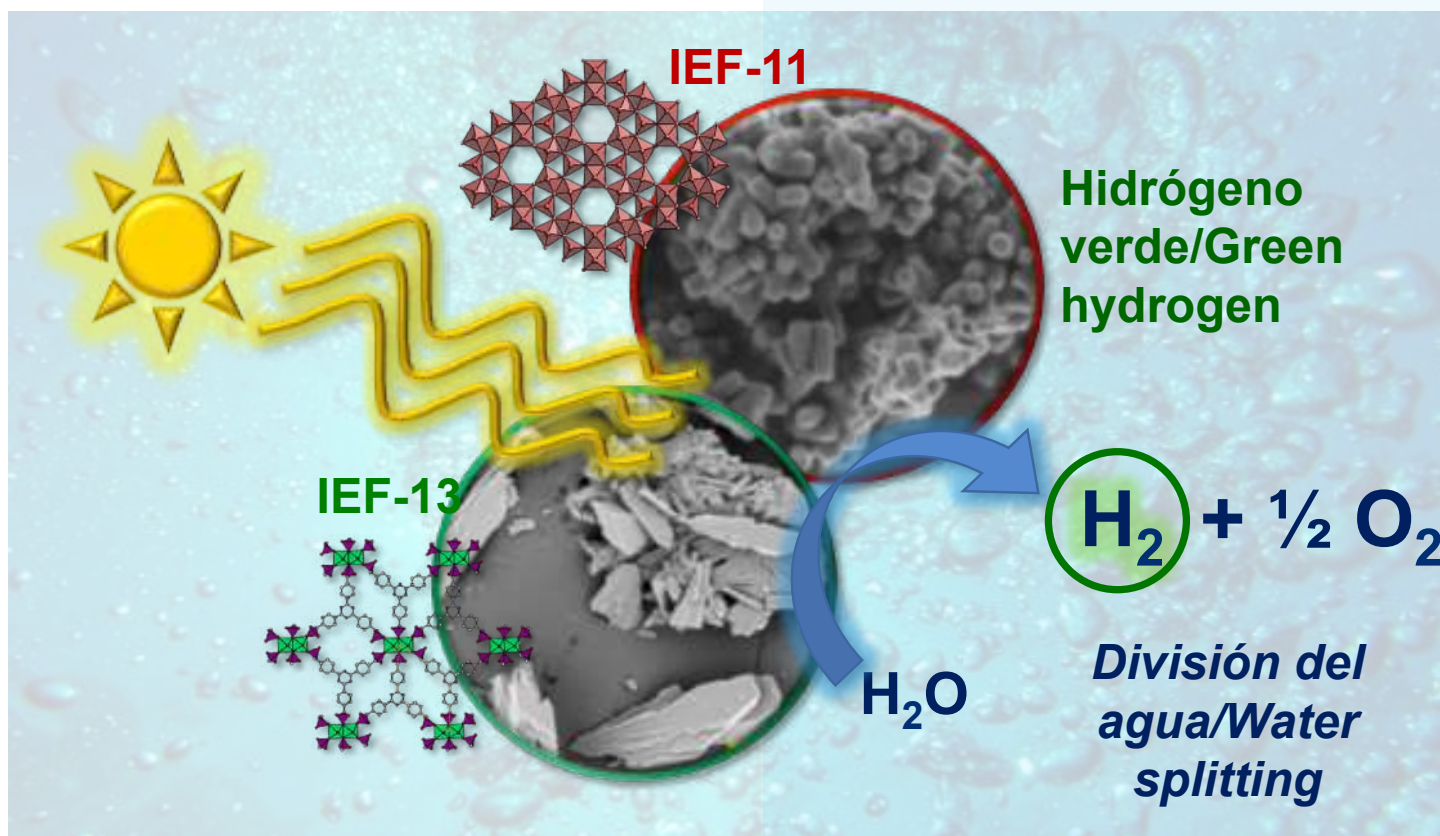


Figura 1. Esquema de la generación de hidrógeno verde durante la división del agua empleando los fotocatalizadores IEF-11 e IEF-13.

Figure 1. Scheme of green hydrogen generation from water splitting using IEF-11 and IEF-13 as photocatalysts.

¹ Salcedo-Abraira, P. et al. *Adv. Mater.* 2021, 2106627.

² Salcedo-Abraira, P. et al. *Nano Res.* 2021, 14, 450-457.

así el camino de la próxima generación de materiales para la producción de hidrógeno verde. Su facilidad de preparación junto a la gran absorción que presentan en el rango de la radiación visible del espectro solar permiten su implementación en dispositivos convencionales de vidrio y paneles solares, evitando el uso de cuarzo (necesario para otros semiconductores cuya tecnología se considera madura, como el TiO_2 y que únicamente absorben en la región UV) y disminuyendo considerablemente los costes de fabricación de los nuevos prototipos. En los últimos años se han desarrollado gran cantidad de reactores industriales compatibles con este tipo de materiales. Estos reactores operan en regiones que reciben una elevada radiación solar durante periodos prolongados de tiempo, siendo el sur de Europa una de las zonas más pobladas en campos solares. Sin embargo, las tecnologías actuales están orientadas hacia el uso de estos dispositivos bajo luz solar simulada, en un modo de generación continua de hidrógeno, condiciones que han sido satisfactoriamente demostradas para el IEF-11 e IEF-13.

During the last years, a broad variety of industrial reactors have been developed, being compatible with these MOFs. Such reactors are typically operating in regions suffering from high solar irradiation during long periods, i.e. solar fields located in the south of Europe. However, current technologies are oriented to the use of these devices under simulated solar light, providing a continuous operation mode, conditions that have been successfully tested for IEF-11 and IEF-13.





Almacenamiento de energía electroquímica

Electrochemical Energy Storage

Las líneas de investigación se centran en cómo los materiales y diseños novedosos pueden mejorar el rendimiento de los sistemas de almacenamiento desarrollados y su aplicación a sistemas de generación de energía renovable, edificios sostenibles y vehículos eléctricos

Autor.- Rebeca Marcilla García. Investigadora senior en la Unidad de Procesos Electroquímicos de IMDEA Energía.

Yo me incorporé al instituto en 2010 cuando IMDEA Energía aún tenía su sede en los laboratorios de la URJC. Desde entonces, tanto mi carrera científica como el instituto y la Unidad de Procesos Electroquímicos (UPEQ) en la que me integro, hemos ido creciendo en paralelo. En 2010 me incorporaba como investigadora postdoctoral a la UPEQ, de reciente creación y compuesta de un puñado de personas entusiastas que estaban diseñando las líneas de investigación prioritarias. En estos momentos soy investigadora senior en la misma Unidad, que ahora está compuesta por más de 20 investigadores de distintas nacionalidades, con diferente trayectoria y capacidades. Se trata de un grupo multidisciplinar capaz de afrontar proyectos de diferente naturaleza y con un alto compromiso con la transferencia de tecnología, ya que contamos con laboratorios de investigación, pero también con plantas piloto. Es emocionante echar la vista atrás y ver cómo hemos ido creciendo y abordando problemas cada vez de mayor complejidad. Esto sólo ha sido posible gracias a las numerosas personas (tanto personal técnico como investigadores pre y post-doctorales, investigadores visitantes, etc) que han contribuido con su experiencia, conocimiento y compromiso al desarrollo de las distintas líneas de investigación a lo largo de estos años.

Uno de los principales objetivos de la Unidad de Procesos Electroquímicos (UPEQ) es desarrollar nuevos conceptos y alternativas tecnológicas para el almacenamiento de energía electroquímica. Los sistemas de almacenamiento de energía desarrollados por la UPEQ están diseñados para ser aplicables a las energías renovables, la electrificación del transporte y el nexo emergente entre el agua y la energía. Las líneas de investigación se centran en cómo los materiales y di-

We are interested in electrochemical energy storage materials and devices that can be coupled to renewable energies in stationary applications, as well as contribute to the massive deployment of electric vehicles

Author.- Rebeca Marcilla García. Senior Researcher. Electrochemical Processes Unit.

I joined the institute in 2010 when IMDEA Energy was still located in the URJC laboratories. Since then, both my scientific career, the Institute and the Electrochemical Processes Unit (EPCU), have been growing in parallel. In 2010 I joined EPCU as a postdoctoral researcher. This unit had been recently created and was formed by a handful of enthusiastic people who were designing the priority research lines. At this moment, I am a senior researcher in the same Unit, which now has more than 20 researchers of different nationalities, with different backgrounds and capacities. This multidisciplinary group is capable of addressing projects of different nature and with a high commitment to technology transfer, since our facilities include research laboratories, but also pilot plants. It is exciting to look back and see how we have grown by tackling challenges of increasingly complexity. This has only been possible thanks to the numerous people (technical staff, pre- and post-doctoral researchers, visiting researchers, etc.) who have contributed with their own experience, knowledge and commitment along these years.

One of the main objectives of the Electrochemical Processes Unit (EPCU) is to develop new concepts and technological alternatives for electrochemical energy storage. The energy storage systems developed by EPCU are designed to be coupled to renewable energy sources, to promote the electrification of transport and to contribute to the emerging nexus between water and energy. In this sense, we are interested in electrochemical energy storage materials and devices that can be coupled to renewable energies in stationary applications, as

seños novedosos pueden mejorar el rendimiento de estos sistemas y en la aplicación de sistemas de almacenamiento electroquímico a sistemas de generación de energía renovable, edificios sostenibles y vehículos eléctricos.

En este sentido, estamos interesados en materiales y dispositivos de almacenamiento electroquímico de energía que puedan acoplarse a las energías renovables (aplicaciones estacionarias), así como contribuir a la electrificación del transporte (vehículo eléctrico). Además, también abordamos el desarrollo de tecnologías electroquímicas de descontaminación de aguas más eficientes, que nos permitan recuperar parte de la energía invertida en la eliminación de contaminantes.

En nuestra unidad trabajamos tanto en el desarrollo de nuevos materiales, como en la investigación de nuevas tecnologías de almacenamiento electroquímico, así como en el testeo de baterías y supercondensadores comerciales. En el campo de los materiales, investigamos tanto en nuevos materiales de electrodo y electrocatalizadores (óxidos, sulfuros, polímeros redox, carbones, etc) como en el diseño de electrolitos más avanzados (electrolitos sólidos, electrolitos redox orgánicos, electrolitos superconcentrados, líquidos iónicos, etc). Los diferentes materiales desarrollados son aplicados en diferentes tecnologías de almacenamiento que se pueden englobar en 3 grandes familias: los supercondensadores, las baterías estáticas (como las baterías de litio-ión o las baterías post-litio ión) y las baterías de flujo redox. Los dos primeros están más orientados a la electrónica portátil y a la electrificación del transporte y las baterías de flujo están más orientadas a su acoplamiento con las energías renovables. Para la fabricación de los dispositivos disponemos de un laboratorio de prototipado con varias impresoras 3D, lo que nos permite acceder a diseños de baterías complejos y a su optimización de una manera rápida y eficaz. Además de la vertiente más experimental de la unidad, quiero poner en valor las capacidades teóricas de modelado y simulación computacional a diferentes escalas (dinámica molecular, mecánica cuántica, COMSOL, etc) que hemos ido desarrollando en los últimos años. Estas capacidades nos han permitido acelerar el descubrimiento de nuevos materiales, entender su comportamiento, así como comprender y predecir el funcionamiento a escala macroscópica de las diferentes tecnologías de almacenamiento.

El grado de multidisciplinariedad de la unidad, así como el equilibrio que intentamos mantener entre ciencia fundamental aplicada y transferencia de tecnología hace que podamos abordar proyectos de diferentes características, financiados por diversas administraciones (a nivel nacional e internacional), así como contratos directos con empresas. Me gustaría destacar 2 proyectos europeos que actualmente están en marcha y de los que yo soy investigadora principal. Se trata del proyecto MfreeB (<https://cordis.europa.eu/project/id/726217/es>) y el proyecto POLYSTORAGE (<https://www.polystorage-etn.eu/>). Son dos proyectos muy diferentes en cuanto a temática y también de diferente filosofía. Mientras que el proyecto MFreeB es un proyecto in-

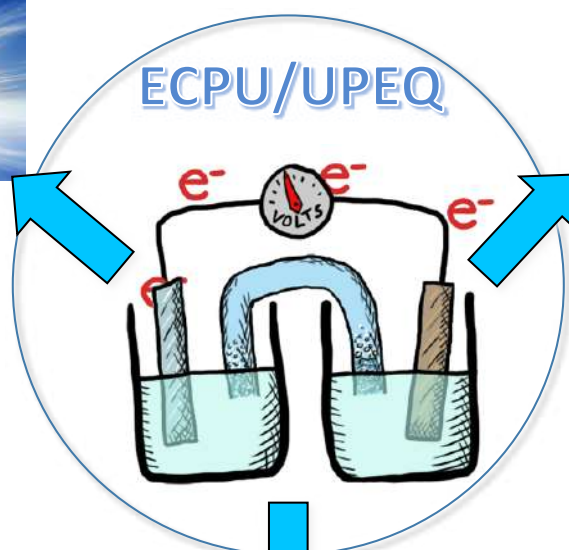
well as contribute to the massive deployment of electric vehicles. In addition, we are also working on the development of more efficient electrochemical water decontamination technologies, which allow us to recover part of the energy invested in the removal of pollutants.

Our research lines include the discovery of new materials, the development of new electrochemical storage technologies, as well as the use of advanced tools for accelerating testing of batteries and supercapacitors. In the field of material science, we work on the synthesis of new electrode materials and electrocatalysts (oxides, sulphides, redox polymers, carbons, etc.) and in the design of advanced electrolytes (solid electrolytes, organic redox electrolytes, super-concentrated electrolytes, ionic liquids, etc). These new materials are applied into different storage technologies that can be grouped into 3 large families: supercapacitors, static batteries (such as lithium-ion batteries or post-lithium-ion batteries) and redox flow batteries. The first two are more oriented towards portable electronics and transport electrification whereas redox flow batteries are suitable to be coupled with renewable energies. For the manufacture of the devices, we have a prototyping laboratory with several 3D printers, which allows us to access to complex battery designs that can be efficiently optimized. In addition to the experimental skills of the unit, I also want to highlight the computational modelling capabilities (molecular dynamics, quantum mechanics, COMSOL, etc.) that we have been developing in the last years. These capabilities have allowed us to speed up the discovery of new materials, to have a better understanding of their performance, as well as to make reliable predictions about performance of different devices at macroscopic scale.

The multidisciplinary character of the ECPU, as well as the balance between oriented research and technology transfer make us possible to address very different projects, funded by various administrations (national and international), as well as direct contracts with companies. I would like to highlight 2 European projects that I am currently leading in ECPU. These are the MfreeB project (<https://cordis.europa.eu/project/id/726217/es>) and the POLYSTORAGE project (<https://www.polystorage-etn.eu/>). These two projects face different scientific topics and have been designed with different philosophy. While the MFreeB is an individual project with strong funding to develop disruptive ideas with outstanding scientific excellence (ERC-Consolidator Grant), the POLYSTORAGE project is a Marie-Curie European Network, with the participation of 24 international groups, with the main objective of providing high-quality training for 16 early-stage-researchers. Within the MFreeB project we are developing a "membrane-less" flow battery using immiscible electrolytes. In addition to scientific contributions with high-impact publications, we have also protected the technology by filling

dividual con una fuerte financiación para llevar a cabo proyectos considerados de muy alta excelencia científica (ERC-Consolidator Grant), el proyecto POLYSTORAGE es una Red Europea Marie-Curie con la participación de 24 grupos internacionales cuyo objetivo principal es la formación de 16 jóvenes investigadores. En el seno del proyecto MFreeB estamos desarrollando una batería de flujo "sin membrana" utilizando electrolitos inmiscibles. Además de avanzar en el conocimiento científico con varias publicaciones de alto impacto también hemos protegido la tecnología con dos patentes hasta el momento. En el proyecto POLYSTORAGE el objetivo es el desarrollo de nuevos materiales de electrodo más baratos y sostenibles basados en polímeros redox y que puedan sustituir a los materiales inorgánicos actuales, que contienen materiales críticos en muchas ocasiones.

two patents up to date. In the POLYSTORAGE project, the goal is to develop new, cheaper and more sustainable electrode materials based on redox polymers that can replace current inorganic materials, which often contain critical materials.



Energía solar de concentración y combustibles solares

Concentrating solar energy and solar fuels

Desde sus inicios, una de las actividades de investigación de IMDEA Energía es la producción de combustibles líquidos con bajo impacto en emisiones de carbono para el sector del transporte

Autor.- José González Aguilar. Investigador Senior/ Jefe de Unidad. Unidad de Procesos de Alta Temperatura (UPAT) de IMDEA Energía

Recuerdo circular desde Niza a Madrid en mayo de 2009 con mi viejo coche diésel en un día soleado que anticipaba un caluroso verano. Sin aire acondicionado, las ventanillas, abiertas de par en par, eran incapaces de evacuar el intenso calor del habitáculo, el cual estaba repleto de los últimos enseres con los que completaba mi mudanza. Cerraba una intensa etapa de 9 años como investigador y docente en la Escuela de Minas de París en la sede del Centro de Energética y Procesos en Sophia Antipolis para unirme a un nuevo proyecto en la Comunidad de Madrid; se trataba de un nuevo centro de investigación llamado IMDEA Energía, dentro de una nueva unidad de investigación sobre Procesos de Alta Temperatura y en un área desconocida para mí, la energía solar de concentración. El objetivo común de todos los que nos sumamos a esta iniciativa, investigadores, técnicos y administrativos, era/es realizar investigación de excelencia a nivel internacional. El desafío era conseguir este objetivo partiendo de cero, sin infraestructuras, ni masa crítica. Fueron meses de frenética actividad estableciendo una hoja de ruta de infraestructuras, diseñando laboratorios, incorporando personal, y salpicada por reconocimientos internacionales que demostraban la calidad científica de nuestro personal, como el premio Farrington Daniels concedido a Manuel Romero.

Desde sus inicios, una de las actividades de investigación de IMDEA Energía es la producción de combustibles líquidos con bajo impacto en emisiones de carbono para el sector del transporte. A modo de ejemplo, el transporte por aviación representa aproximadamente el 5% de las emisiones de efecto invernadero y se ha marcado como objetivo cubrir una demanda de 550 Mt de combustible por año mediante recursos renovables en 2050. Entre otras opciones, como el

Since its establishment, one of research activities carried out at IMDEA Energy has been the production of liquid fuels with low impact on carbon emissions for the transport sector

Author.- José González Aguilar. Senior Researcher/ Head of Unit. High Temperature Processes Unit (HTPU). IMDEA Energy.

I remember driving from Nice to Madrid in May 2009 with my old diesel car on a sunny day that anticipated a hot summer. Without air conditioning, the windows, wide open, were unable to evacuate the intense heat of the cabin, which was full of the last items with which I completed my move. I ended an intense period of 9 years as researcher and lecturer at the Ecole des Mines de Paris at the Center for Energy and Processes in Sophia Antipolis to join a new project in the Community of Madrid; it was a new research center called IMDEA Energy, within a new research unit on High Temperature Processes, and in an area that were new to me, concentrating solar energy. The common objective of all of us who joined this initiative, researchers, technicians and administrative staff, was/is to carry out outstanding research at international level. The challenge was to achieve this goal from scratch, without infrastructure or critical mass. There were months of frenetic activity establishing infrastructure roadmaps, designing laboratories, hiring staff, and good memories such as the Farrington Daniels award granted to Manuel Romero, which highlighted the scientific quality of our staff.

Since its establishment, one of research activities carried out at IMDEA Energy has been the production of liquid fuels with low impact on carbon emissions for the transport sector. As example, aviation transport accounts for approximately 5% of greenhouse gas emissions and the goal has been set to cover a demand of 550 Mt of fuel per year from renewable resources in 2050. Among other options, such as the use of combustion engines using hydrogen or electric motors with on-board power generation systems (such as fuel cells) and/or storage (hydrogen, batteries), liq-

uso de motores de combustión empleando hidrógeno o de turbinas eléctricas con sistemas embarcados de generación eléctrica (como pilas de combustible) y/o almacenamiento (hidrógeno, baterías), los combustibles líquidos son a corto plazo la que cuenta con mayor apoyo ya que permiten garantizar largas distancias sin repostar y emplear en buena medida las infraestructuras existentes.

Dentro de dicha actividad, varias unidades de investigación del centro trabajan en la conversión de mezclas de dióxido de carbono, CO_2 , (de origen atmosférico) y agua en combustibles líquidos mediante procesos que hacen uso de energía solar, razón por la cual se habla de combustibles solares. Nuestra meta es obtener en la próxima década tecnologías alternativas y complementarias a las ofrecidas hoy por sistemas biológicos, capaces de operar en situaciones biológicamente adversas, con eficiencias superiores, menor o nulo impacto medioambiental (por ejemplo, en el uso de recursos hídricos) y máxima sostenibilidad mediante una optimizada gestión de desechos.

La Unidad de procesos de Alta Temperatura trabaja sobre la ruta termoquímica solar, la cual consiste en transformar la mezcla de dióxido de carbono y agua en gas de síntesis (mezcla compuesta de hidrógeno y monóxido de carbono) mediante una serie de reacciones químicas de oxidación y reducción de un óxido metálico a temperaturas entre 800 y 1 500 °C, las cuales son alcanzadas mediante la concentración de la luz solar. Esta última se lleva a cabo mediante un conjunto de espejos dotados de actuadores, los cuales permiten controlar la orientación de la superficie reflectante y redirigir la luz solar hacia un área dada. El gas de síntesis es posteriormente transformado en hidrocarburos mediante un proceso llamado Fischer-Tropsch. Cabe señalar que la producción de hidrocarburos puede ser continua tanto de día, como de noche. Para ello, bastaría producir durante el día el gas de síntesis necesario para garantizar la producción durante el período nocturno.

En 2019, un consorcio internacional demostró por primera vez la producción de queroseno solar en un sistema integrado desde la descomposición de CO_2 y agua empleando radiación solar real, pasando por el almacenamiento del gas de síntesis y finalizando por la síntesis del hidrocarburo. Esta experiencia tuvo lugar dentro del proyecto financiado por la Unión Europea bajo el acrónimo Sun-To-Liquid (Integrated solar-thermochemical synthesis of liquid hydrocarbon fuels). Para materializar esta demostración, se construyó una planta de concentración solar ubicada en el Instituto IMDEA Energía de Móstoles, España. Con esta infraestructura, se completaba la hoja de ruta que habíamos concebido 10 años antes. Recientemente, el proyecto fue galardonado con el Energy Globe World Award 2021 en la categoría "fuego" y también recibió el premio en la categoría nacional 'National Energy Globe Award Spain 2021', en reconocimiento al proyecto medioambiental más destacable en España.

Los retos abordados para alcanzar este hito han necesitado profundizar en el conocimiento en un amplio abanico de temáticas como

liquid fuels are currently the ones that have the greatest support in the short term since they allow traveling long distances without refueling and using the existing infrastructures.

Within this activity, several research units of the center work on the conversion of mixtures of carbon dioxide, CO_2 , (which could come from the atmosphere) and water into liquid fuels through processes that use solar energy, which is why we speak of solar fuels. Our goal is to obtain in the next decade alternative and complementary technologies to those offered today by biological systems, capable of operating in biologically adverse situations, with higher efficiencies, less or no environmental impact (for example, in the use of water resources) and maximum sustainability through an optimized waste management.

The High Temperature Process Unit works on the solar thermochemical route, which consists of transforming the mixture of carbon dioxide and water into synthesis gas (a mixture made up of hydrogen and carbon monoxide) through a series of chemical reactions of oxidation and reduction of a metal oxide at temperatures between 800 and 1500 °C, which are reached by concentrating sunlight. The latter is carried out by means of a set of mirrors equipped with actuators, which allow controlling the orientation of the reflecting surface and redirecting sunlight towards a given area. The synthesis gas is later transformed into hydrocarbons through a process called Fischer-Tropsch. It should be noticed that the production of hydrocarbons can be continuous day and night, 24/7. To do this, it would suffice to produce the necessary synthesis gas during the day to guarantee production during the night period.

In 2019, an international consortium demonstrated for the first time ever the integrated chain of production of solar kerosene from the decomposition of CO_2 and water using real solar radiation, through the storage of synthesis gas and ending with the synthesis of hydrocarbon. This experience took place within the project funded by the European Union under the acronym Sun-To-Liquids (Integrated solar-thermochemical synthesis of liquid hydrocarbon fuels). To materialize this demonstration, a solar concentration plant was built at IMDEA Energy in Móstoles, Spain. With this infrastructure, the roadmap that we had conceived 10 years earlier was completed. Recently, the project was awarded the Energy Globe World Award 2021 in the "fire" category and also received the award in the national category 'National Energy Globe Award Spain 2021', in recognition of the most outstanding environmental project in Spain.

The challenges addressed to reach this milestone have required deepening knowledge in a wide range of topics such as materials science and engineering, optics, automation and control, and systems integration and relying on both numerical and experimental

la ciencia e ingeniería de materiales, óptica, automática y control, e integración de sistemas y apoyarse tanto en herramientas de simulación numérica, como experimentales; recordándonos que las soluciones en el área de la energía son a la fuerza multidisciplinarias e interdisciplinarias.

Los resultados científico-tecnológicos obtenidos todavía son objeto de análisis pero nos permiten vislumbrar un plan de desarrollo de la ruta solar termoquímica hacia la industrialización, nos abren nuevas vías de investigación que recorren desde la ciencia fundamental a la aplicada, y proponer acciones de innovación tecnológica. Dentro del primer apartado, debemos profundizar en el conocimiento de los fenómenos asociados a la interacción luz-materia y en la química de superficies. Como investigación aplicada actualmente desarrollada en nuestra unidad de investigación, podemos citar:

- el diseño y fabricación multi-escala de materiales optimizados para gestionar adecuadamente la transferencia de materia y energía de la conversión química y la transmisión y absorción de la luz solar, todo ello preservando la resistencia termo-mecánica del material;
- Sistemas y componentes avanzados de recuperación y de almacenamiento de calor haciendo uso de nuevas técnicas de fabricación como la impresión 3D y de simulación numérica; o
- Sistemas ópticos de concentración solar modulares e integrables en zonas urbanas e industriales.

Todas ellas dirigidas al uso de la energía solar mediante tecnologías de concentración solar para la descarbonización de industrias intensivas que requieren muy altas temperaturas, como la industria cementera, y del sector del transporte, mediante la producción de combustibles líquidos e hidrógeno.

simulation tools; reminding us that solutions in the area of energy are necessarily multidisciplinary and interdisciplinary.

The scientific-technological results obtained are still subject to further analysis but they allow us to envision a roadmap for the thermochemical solar route towards industrialization, they open up new research topics from fundamental to applied science, and propose technological innovation actions. Within the first one, we address the phenomena associated with light-matter interaction and the chemistry of surfaces. As applied research currently developed in our research unit, we can cite:

- Multi-scale design and manufacture of materials optimized to properly manage heat and mass transfers in the presence of chemical reactions and sunlight, all while preserving the thermo-mechanical resistance of the material;
- Advanced heat recovery and storage systems and components using new manufacturing techniques such as 3D printing and computational fluid dynamic simulation; or
- Modular and integrable solar concentrating optical systems in urban and industrial areas.

All of them aimed at the deployment of concentrating solar technologies for the decarbonisation of energy-intensive processes that require very high temperatures, such as the cement industry, and the transport sector, through the production of liquid fuels and hydrogen.



Análisis multiescala de las propiedades radiativas de materiales en procesos de alta temperatura

Multiscale analysis of the radiative properties of materials for high-temperature processes

La generación de calor en procesos industriales a alta temperatura y la producción de electricidad son responsables de más del 54% de las emisiones globales de CO₂. Tan solo en la UE, los combustibles fósiles son el origen del 40% de la electricidad consumida en 2018 y aproximadamente el 75% del consumo de energía de las industrias intensivas en energía en 2016...

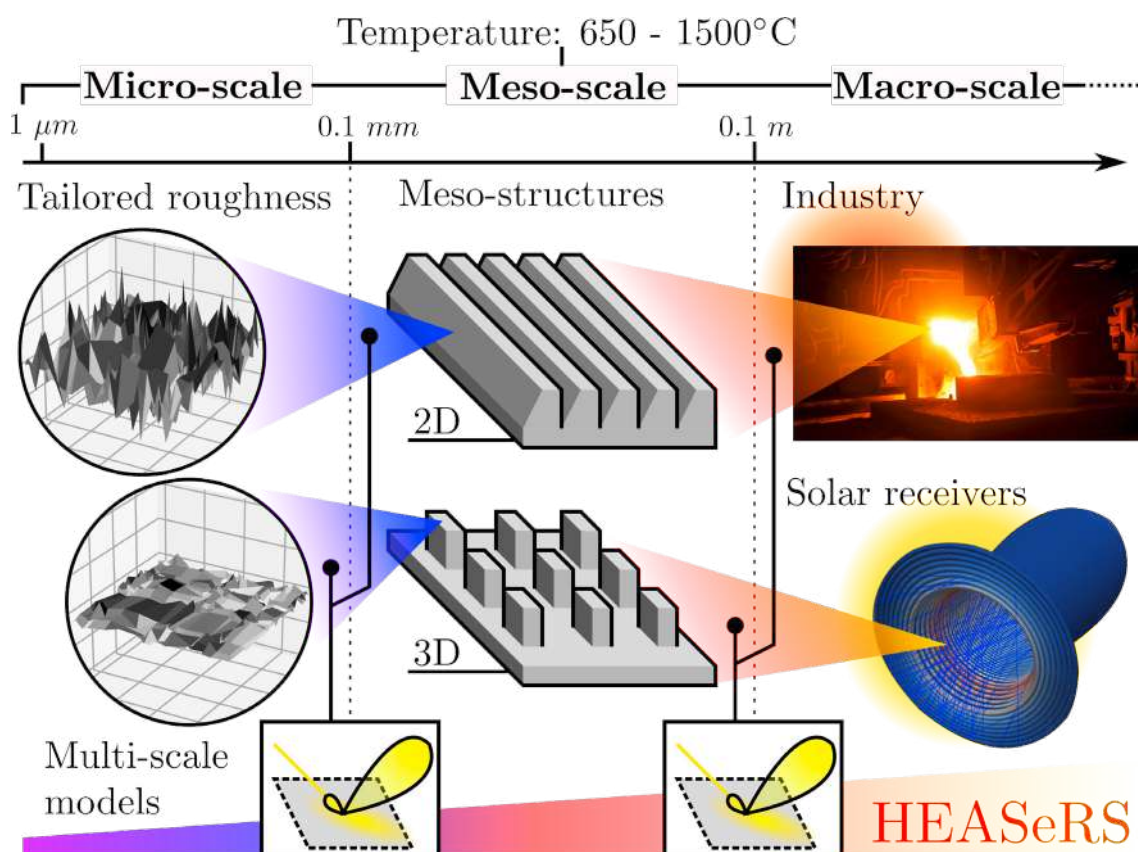


Para más información pulsa aquí

The production of high-temperature heat for industrial processes and electricity generation is responsible for more than 54% of global CO₂ emissions. In the EU alone, fossil fuels are the source of 40% of the electricity consumed in 2018 and approximately 75% of the energy consumption of energy-intensive industries in 2016...



for more information clic here



madrimasd.org

suplemento
notiweb



instituto
IMdea
energía



 **fundación** para el
conocimiento
madri+d