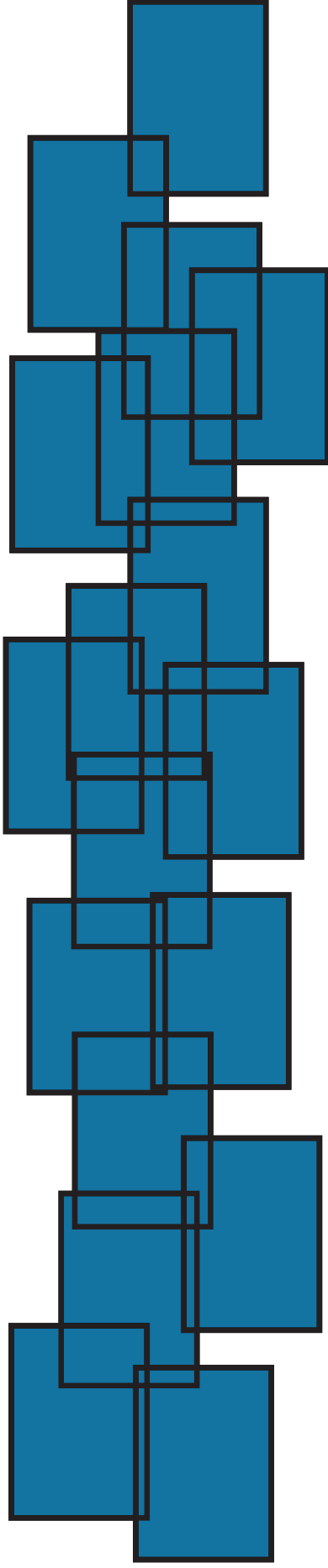


# ENERGÍA





## José A. Pomposo

**Lugar y fecha de nacimiento:** Donostia - San Sebastián (España), 1965

**Formación:** Licenciado en Químicas por la Universidad de País Vasco (UPV/EHU) en 1988. Doctorado por la misma Universidad en 1994. Formación sobre Lanzamiento de nuevos negocios durante 1996 (máster teórico / práctico de 800 horas).

**Carrera Profesional:** Desde 1997 dirige el Departamento de Nuevos Materiales del Centro de Tecnologías electroquímicas CIDETEC, que en la actualidad comprende las Unidades de Nanotecnologías, Biomateriales, Electro-ópticos, Sensores/Actuadores, Magnetismo, y Síntesis.

Su interés se centra en el estudio de nuevos fenómenos en la nanoescala (incluyendo la interacción nano-bio), síntesis, modelado y caracterización de nanomateriales híbridos multifuncionales y preparación de nuevos dispositivos electroquímicos, optoelectrónicos y micro/nanoelectrónicos avanzados.



## Oscar Miguel Crespo

**Lugar y fecha de nacimiento:** Donostia-San Sebastián (España), 1971

**Formación:** Licenciado en Químicas en la Universidad del País Vasco en 1994. Doctorado cuatro años más tarde en esta misma universidad.

**Carrera Profesional:** Tras un breve paso por la industria privada, en 1999 se incorpora a CIDETEC para poner en marcha la línea de trabajo en Pilas de Combustible de Membrana Polimérica (PEMFC). Dos años después es designado Director del Departamento de Energía de CIDETEC, cargo que ostenta hasta la actualidad. Coorganiza el 1er Congreso Nacional de Pilas de Combustible en San Sebastián, es representante en la Plataforma Tecnológica Europea (HFP) y la Nacional (PTE HPC), y participa en el Comité Técnico de Normalización 105 Pilas de Combustible.

Participa también en asociaciones nacionales: APPICE, AeH2, Red de Pilas de combustible, Baterías y Supercondensadores del CSIC y asume la coordinación del BCP (Basque Contact Point) para el Hidrógeno y Pilas de Combustible.

### **Documento elaborado por el Departamento de Energía de CIDETEC**

Contribuyeron: Ione Cendoya, Iratxe de Meatza, Francisco Alcaide, Miguel Bengoechea, Iker Boyado y Oscar Miguel del Departamento de Energía de CIDETEC



## 1. Introducción

Las actividades que se desarrollan en España en el ámbito de la Nanociencia y Nanotecnología aplicadas al área de Energía, tienen que ver fundamentalmente con las siguientes líneas tecnológicas:

- Pilas de combustible e hidrógeno
  - Electrocatalizadores nobles nanoparticulados
  - Membranas de intercambio protónico nanoestructuradas
  - Almacenamiento de hidrógeno en nanomateriales
- Baterías de litio
  - Materiales electródicos nanoparticulados y/o nanoestructurados
- Fotovoltaica
  - Materiales sustitutivos del silicio
- Supercondensadores
  - Nanomateriales carbonosos como material activo
  - Nanomateriales inorgánicos

Por lo tanto, el presente documento estará estructurado en torno a este conjunto de tecnologías, tratando de seguir el orden arbitrario anterior en aras de una mayor claridad. Este informe no pretende hacer una representación exhaustiva sino más bien ilustrativa del estado del arte, actores e iniciativas características o más representativas en este campo.

La riqueza y complejidad que encierra cada uno de estos cuatro tópicos, además de algunos otros que hayan podido quedar fuera de esta fotografía rápida, hacen que sin duda cada uno de ellos fuera merecedor de un documento específico más detallado.

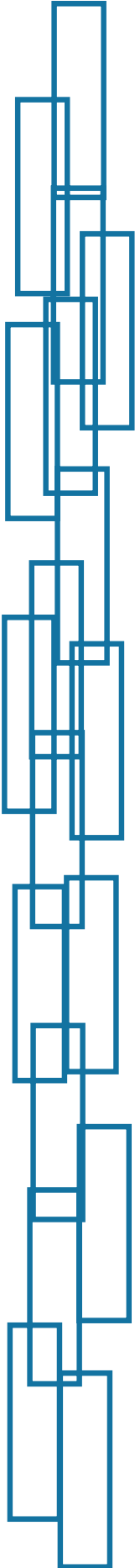
Por estas razones el presente informe es necesariamente parcial e incompleto, reflejando diversas percepciones y opiniones de algunos especialistas de CIDETEC en las respectivas materias.

## 2. Estado del arte general

- Pilas de combustible e hidrógeno

La nanotecnología puede aportar un beneficio a las pilas de combustible e hidrógeno a través de la nanoestructuración. Este concepto está relacionado con la introducción de mejoras en la manufactura de materiales, de manera que se aumenten sus prestaciones, para una aplicación efectiva en pilas de combustible y dispositivos de almacenamiento de hidrógeno. En este sentido caben destacar los siguientes aspectos relacionados con las pilas de combustible de membrana polimérica (PEMFC):



- 
- Manufactura de catalizadores: la nanoestructuración puede ayudar a manufacturar electrocatalizadores más activos frente a las reacciones que tienen lugar en la pila de combustible. Por ejemplo, se ha desarrollado un método para crear nanohojas de platino, anclando éste sobre porfirinas que contienen estaño, mediante un proceso fotocatalítico. Otro ejemplo lo constituye el uso de nanotubos de carbono orientados como soporte de electrocatalizadores tales como el platino. En este caso se consigue una mayor disponibilidad del catalizador, un menor coste y una mayor durabilidad.
  - Membranas poliméricas: es sabido que en las PEMFC que operan a temperaturas inferiores a los 100 °C, los intermedios procedentes de las reacciones que tienen lugar en los electrodos, así como el monóxido de carbono presente en el combustible, envenenan los catalizadores reduciendo el tiempo de vida de la pila de combustible, así como su eficiencia. El efecto de esas impurezas puede ser mitigado si se aumenta la temperatura de operación a 120-150 °C. Por este motivo se están desarrollando membranas que puedan operar a altas temperaturas. En este sentido, las membranas nanoestructuradas constituidas por composites orgánicos/inorgánicos (p.ej. que contiene silicio en la matriz polimérica) constituyen una nueva aproximación para minimizar los requerimientos de humidificación de las membranas.

Por otro lado, cabe decir que, en general, existen distintos tipos de nanomateriales que poseen poros de dimensiones comparables a las de los gases que se pretende almacenar. Es por ello por lo que se están investigando numerosos nanomateriales en cuanto a sus prestaciones para aplicarlos en el almacenamiento de hidrógeno. Entre ellos cabe destacar las nanofibras, nanotubos y fullerenos de carbono, las zeolitas (silicatos de aluminio cristalinos y microporosos), los hidruros metálicos nanoestructurados (basados en magnesio, níquel,...), alanatos (constituidos por  $\text{NaAlH}_4$  y diferentes agentes dopantes como el titanio) y nanocubos (redes periódicas de ácido tereftálico y moléculas de óxido de cinc, conectadas a través de enlaces carboxilato).

#### ➤ Baterías de litio

El creciente uso y mayores funcionalidades de todo tipo de aplicaciones portátiles, requieren mejoras en la densidad de energía, potencia, seguridad y coste de las celdas para responder a las demandas crecientes de las aplicaciones y sus usuarios. Es por ello que cada vez es más urgente diseñar sistemas de almacenamiento capaces de suministrar su energía, y a su vez cargarse, en el menor tiempo posible. Frente a estos retos, la nanotecnología es una prometedora herramienta para conseguir importantes mejoras en los materiales de electrodo y electrolito de baterías, quienes determinan principalmente el rendimiento de las mismas, ya que aportan:

- Nuevos mecanismos de reactividad de óxidos metálicos, sulfuros y aleaciones (materiales anódicos) respecto a la especie móvil ( $\text{Li}^+$ ), dando lugar a procesos de conversión reversibles inusuales, con menor variación

de volumen, que permitirán la aplicación de materiales de gran capacidad de almacenamiento de energía que a tamaño micrométrico no son estables.

- La posibilidad de cambiar radicalmente las cinéticas y los caminos de reacción químicos/electroquímicos de materiales inorgánicos frente a la especie móvil, al pasar de macro a nanopartículas. Entre los candidatos estudiados están los nanotubos de carbono que debido a su gran área superficial pueden incorporar más  $\text{Li}^+$ .
- La modificación morfológica con aditivos en la escala nano se erige como una herramienta útil para controlar fenómenos indeseables como la baja difusión de los iones en la interfase, tanto en electrodos como en electrolitos.

A modo de ejemplo, en los últimos años, estrategias como la obtención de nanopartículas, texturas de nanofibrillas y los nanorrecubrimientos de carbono u otro metal (p.e. Cu o Ag) durante la síntesis dan lugar a mejoras excelentes en las propiedades electroquímicas de la fase  $\text{LiFePO}_4$ , material catódico más seguro y prometedor, pero aislante "per se". Se cree que los nanopolvos actúan como sitios de nucleación para las partículas de  $\text{LiFePO}_4$  y tienden puentes entre las mismas, mejorando la conductividad intra e intergranular. Así, laboratorios de investigación de todo el mundo están dedicando gran parte de su esfuerzo a desarrollar la síntesis y procesado de materiales nanoestructurados para baterías. Como ejemplo, A123Systems ha desarrollado baterías de ión litio basadas en fosfato nanoparticulado para herramientas eléctricas de DeWalt y trabaja para aplicar esta tecnología en vehículos híbridos con General Motors.

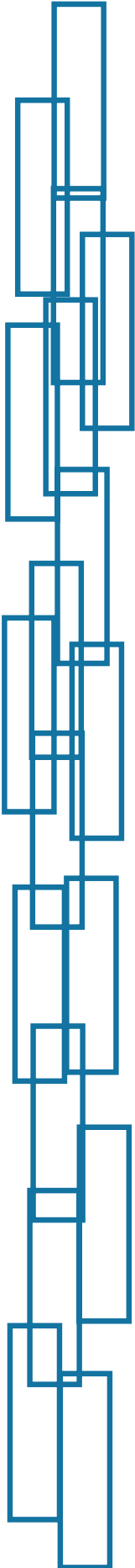
### ➤ Fotovoltaica

El objetivo principal de la investigación que se realiza en fotovoltaica es el de estudiar diferentes tipos de células que puedan competir, tanto en costo como en propiedades electroópticas, con las células de silicio. Actualmente estas células son las líderes absolutas en dispositivos fotovoltaicos, pero el costo del silicio y los valores de eficiencia fotovoltaica, dejan un margen de mejora que se trata de obtener con otro tipo de células y materiales. En el estudio de estos nuevos tipos de células (poliméricas, "dye synthetised solar cells", etc.) es donde la nanotecnología adquiere una vital importancia, ya que permite potenciar algunas de las propiedades de los materiales que forman las células (como la absorción de luz o la conducción de electrones), obteniendo dispositivos de mejores características.

La utilización de nanopartículas o materiales nanoestructurados han aportado una nueva perspectiva a la investigación en fotovoltaica, ya que con una apropiada utilización de la tecnología nano, se pueden lograr valores de eficiencia ampliamente superiores a la del silicio. Ejemplos de este tipo de materiales son:

- Nanopartículas: la utilización de nanopartículas como absorbentes de la radiación solar hace que una vez excitado, la distancia que tienen que recorrer tanto el electrón como el hueco creado, se minimice. Al tener que recorrer menor distancia la posibilidad de recombinación electrón-hueco disminuye, aumentando el número de portadores de carga que se obtiene por fotón incidente.



- 
- Materiales Nanoestructurados: Actualmente se está trabajando con óxidos nanoestructurados (sobre todo óxido de titanio) en el que se depositan los materiales absorbentes. La nanoestructura del óxido puede multiplicar por un factor 1000 el área de deposición, aumentando las eficiencias de la célula.

#### ➤ Supercondensadores

Los supercondensadores están constituidos por dos electrodos porosos aislados de posibles contactos eléctricos por un papel separador impregnado con un medio conductor de iones o electrolito. Almacenan energía por separación de cargas negativas y positivas en la interfase entre electrodo/electrolito. La nanotecnología ofrece la posibilidad de diseñar materiales nanoestructurados controlando parámetros como: Distribución y tamaño de los poros, área superficial o funcionalidad de la superficie y abre infinitas posibilidades para el diseño y optimización de materiales para supercondensadores.

Actualmente se trabaja principalmente en líneas como:

- Los nanotubos de carbono están constituidos por uno (nanotubos de capa única, SWNT) o más (nanotubos de capa múltiple, MWNT) esqueletos concéntricos de láminas de carbono. Se han realizado diferentes estudios de SWNT y MWNT como electrodos para supercondensadores. Controlando los parámetros del proceso de síntesis de los nanotubos es posible controlar el tamaño de poro y de esta manera es posible realizar materiales electródicos adecuados para cada electrolito y asegurar de esta manera que la mayor parte de los poros sean accesibles por él aumentando por tanto la capacidad del material. Por otra parte, numerosos trabajos de investigación están orientados a la mejora de la capacidad de los nanotubos por diferentes vías: Funcionalización de la superficie, incorporación de óxidos metálicos o polímeros conductores y activación térmica o química.
- Composites de nanotubos de carbono con polímeros conductores como polianilina y polipirrol.
- Otro material que está recibiendo una creciente atención es la de los carbones mesoporosos. La síntesis de carbones mesoporosos usando el método del "template" con silica mesoporosa proporciona materiales nanoestructurados que permiten optimizar propiedades que resultan altamente interesantes para su aplicación como electrodos para supercondensadores como son el tamaño de poro y el área superficial, entre otras.
- Por otra parte, la acumulación de carga en los supercondensadores que usan óxidos de metales de transición como electrodos viene dada por la presencia de reacciones redox en el óxido, efecto conocido como pseudocapacitancia. De entre los óxidos metálicos, el más estudiado es el  $\text{RuO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$  amorfo, sin embargo, su elevado coste y los problemas medioambientales que presenta el fuerte medio ácido del electrolito que requiere limitan su uso comercial. Se trabaja intensamente en encontrar materiales alternativos que sean más baratos. Estos nuevos materiales son óxidos de manganeso, níquel, cobalto y vanadio. Existen grupos muy importantes dedicados a esta investigación en Japón y Corea.

- De la misma forma se estudian composites integrados por carbones activos y nanopartículas de óxidos de metales de transición. La presencia de las nanopartículas de  $\text{RuO}_x$  incrementa en un 50% la capacidad específica del carbón activo. El mismo efecto tiene lugar cuando se funcionalizan nanotubos de carbono con  $\text{RuO}_x$ .

### 3. Estado del Arte en España

#### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

La nanotecnología aplicada a las pilas de combustible e hidrógeno en España se centra en la investigación y desarrollo sobre nuevos materiales para su posterior manufactura y aplicación. En el campo de los catalizadores, se está investigando sobre todo en nanocatalizadores de platino soportados sobre distintos materiales y sin soportar, así como sistemas bimetálicos. Destacan los grupos de las Universidades de Alicante, Barcelona y La Laguna, el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC) y CIDETEC. En cuanto a los soportes, nanofibras y nanotubos son los que están recibiendo una mayor atención. En este contexto, se sitúan las investigaciones llevadas a cabo en el Instituto de Carboquímica de Zaragoza (CSIC) Las membranas poliméricas nanoestructuradas, constituyen otro campo de actuación.

Por otro lado, los materiales para almacenamiento de hidrógeno más estudiados son materiales carbonosos e hidruros metálicos ligeros. Aquí cabe citar la labor en este campo del grupo de Química Inorgánica de la Universidad de Alicante.

En pilas SOFC, grupos como el de la Universidad de La Laguna trabajan en el desarrollo de cátodos nanoparticulados, más porosos, lo que permite incrementar la frontera de fase triple (*triple phase boundary*). Esto mejora la actividad catalítica del cátodo frente al oxígeno y permitiendo una mayor conductividad de los iones óxido hacia el electrolito, mejorando así el rendimiento de la pila.

#### ➤ Baterías de litio

Varios grupos españoles están trabajando en busca de las mejoras señaladas en baterías gracias al uso de nanomateriales, principalmente desde el punto de vista sintético, aplicando nuevos métodos de síntesis y estudiando nuevos materiales de mayor potencia. Así, la Universidad de Córdoba desarrolla varias líneas de investigación en materiales anódicos (principalmente de estaño) y catódicos (espinelas) nanoparticulados, así como el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona en cátodos nitrurados de alta potencia. Ambos centros forman parte de la Red de Excelencia Europea en baterías de litio ALISTORE. Otro polo de investigación se agrupa en torno a la Universidad Complutense y el Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, donde la experiencia en síntesis de óxidos de todo tipo se aplica ocasionalmente a cátodos y electrolitos sólidos de estructura perovskita de tamaño nanométrico. En esta revisión, no exhaustiva, cabe señalar también la investigación en síntesis de fosfatos de hierro nanocristalinos desarrollada en la Universidad del País Vasco y CIDETEC, en colaboración con CEGASA.





## ➤ Fotovoltaica

La situación favorable de la industria Española fotovoltaica en Europa (2ª por detrás de Alemania en fabricación de células), hace que existan un amplio número de empresas tractoras en el sector. El análisis realizado por estas empresas sitúan el coste y el mantenimiento, como principales frenos al crecimiento a este tipo de energía. Por tanto, los objetivos de los grupos de investigación se centrarán en la obtención de células baratas y con materiales fotoelectroquímicamente estables, que mejore los valores de una tecnología relativamente madura como es la del silicio.

Para lograr todo ello, la nanotecnología se muestra como una herramienta imprescindible para potenciar las propiedades de materiales de menor coste que las del silicio. Actualmente la investigación en España utiliza tanto las nanoestructuras de óxidos metálicos como las nanopartículas ("Quantum Dots", nanofibras, nanotubos o nanocolumnas) como vía de mejora de las células fotovoltaicas, aprovechando además la buena compatibilidad de estos materiales con otros de naturaleza diferente (como los polímeros o los líquidos iónicos).

Muestra de este tipo de celdas son las poliméricas que se investigan en el departamento de Química Orgánica de la Universidad Complutense de Madrid, que utilizan los fullerenos como material absorbente de la radiación solar, o las Dye-sensitized solar cells, que se desarrollan a partir de un óxido nanoestructurado de Titanio en el Departamento de Ciencias Experimentales de Universitat Jaume I de Castelló (UJI).

## ➤ Supercondensadores

En España la investigación en supercondensadores se basa fundamentalmente en el desarrollo y caracterización de materiales carbonosos de diversa naturaleza ya sean carbones activos de orígenes diversos como carbones mesoporosos por réplica de materiales mesoestructurados de sílices, así como nanotubos de carbono.

La investigación realizada persigue aumentar la capacidad del material implicado por una mejora de la síntesis, modificación posterior, composites, funcionalización, entre otros.

Existen grupos que se dedican a la síntesis y caracterización de Óxidos de Rutenio soportados sobre otros óxidos y carbones para electrodos.

INCAR: El Instituto del carbón de Asturias trabaja en la síntesis y caracterización de materiales carbonosos de distinta naturaleza, ya sean carbones activos de orígenes diversos como carbones mesoporosos por réplica de materiales mesoestructurados de sílice.

UA: Preparación de materiales carbonosos de diversa naturaleza (carbones activos, etc) y caracterización como electrodos para supercondensadores.

ICMM (Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid): Síntesis y caracterización de Óxidos de Rutenio soportados sobre otros óxidos y carbones para electrodos de supercondensadores.



ICB (Instituto de Carboquímica): El grupo de Nanoestructuras de Carbono y Nanotecnología, G-CNN, posee amplia experiencia en la síntesis, funcionalización, procesado y caracterización de nanotubos de carbono (CNT), y es especialista en el desarrollo de nanomateriales compuestos avanzados altamente funcionales.

#### 4. Actuaciones a desarrollar en España en el plazo 2008-2011

##### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

Las actuaciones futuras a desarrollar en España en cuanto a la aplicación de la nanotecnología a las pilas de combustible y almacenamiento de hidrógeno pasa por consolidar los métodos de manufactura de catalizadores de platino y desarrollar sistemas multimetálicos basados en metales no nobles. Asimismo, cabe considerar el desarrollo de nuevos nanomateriales metálicos (basados en estaño, titanio...) y carbonosos (tales como nanocuernos, nanohilos...), que puedan ser utilizados como soporte de catalizadores y en almacenamiento de hidrógeno, en su caso. Por último, es necesario afianzar el conocimiento en membranas nanoestructuradas y aumentar los esfuerzos en el desarrollo de nuevas membranas nanoporosas, capaces de satisfacer las condiciones de operación de las PEMFC.

##### ➤ Baterías de litio

Las líneas mencionadas en el apartado anterior deberán ser consolidadas para permitir un avance de la nanotecnología en este área, en la que, a excepción de un par de casos, la investigación es puntual. Dado el trabajo ya realizado en materiales nanoparticulados, la síntesis y/o procesado de electrolitos y electrodos nanoestructurados, junto con la comprensión de las propiedades electroquímicas a escala nano podrían ser el reto a plantear para realizar una aportación significativa a nivel internacional.

##### ➤ Fotovoltaica

La utilización de la nanotecnología en el campo de la fotovoltaica no está limitada a la síntesis y deposición de los nanomateriales ya que los dispositivos fotovoltaicos están formados por diferentes capas de material. El control de los procesos físico-químicos en las intercaras es un aspecto fundamental para el éxito de los dispositivos de nanoescala. Aunque actualmente la investigación en España se centra mayormente en la obtención de materiales para los dispositivos fotovoltaicos, se están realizando esfuerzos de coordinación entre diferentes grupos de investigación con el fin aglutinar los recursos y conocimientos necesarios, para la obtención de dispositivos íntegramente desarrollados en España.

##### ➤ Supercondensadores

La investigación en nanomateriales para supercondensadores, sobre todo basados en carbón está al nivel de Europa. Los grupos que se dedican a ello colaboran con los grupos europeos más representativos. No obstante, se debería incentivar la investigación en estos materiales, de forma que se consoliden las líneas de investigación y que más grupos españoles puedan dedicarse al desarrollo de la citada tecnología.



## 5. Publicaciones relevantes con contribución española 2004-2007

### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

- J. Alberto Blázquez, J. Areizaga, D. Mecerreyes, O. Miguel, Juan J. Iruin, J. Jouanneau. "Synthesis of aromatic amine end-functional poly (methyl methacrylate) by atom-transfer radical polymerization". *Reactive and Functional Polymers*, 66 (2006) 1073-1080.
- L. Calvillo, M. J. Lázaro, I. Suelves, Y. Echevoyen, E. G. Bordejé, R. Moliner. "Study of the surface chemistry of modified carbon nanofibers by oxidation treatments in liquid phase". *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. In press.
- O. Guillén-Villafuerte, G. García, B. Anula, E. Pastor, M. C. Blanco, M. A. López-Quintela, A. Hernández-Creus and G. A. Planes. "Assemble of Subnanometric 2D Pt Nanoislands in Parallel Rows onto Au (111) by Self-Organization of Pt Clusters". *Angew. Chem. Int. Ed.* 45 (2006) 1-9.
- M. Jorda-Beneyto, F. Suarez-Garcia, D. Lozano-Castello, D. Cazorla-Amoros, A. Linares-Solano. "Hydrogen storage on chemically activated carbons and carbon nanomaterials at high pressures". *Carbon*, 45 (2007) 293-303.
- Ruiz-Morales J. C, Canales-Vazquez, J et al "Microstructural optimisation of materials for SOFC applications using PMMA microspheres" *J. Mater. Chem.* 16, 540-542, 2006.

### ➤ Baterías de litio

- Lazarraga M. G., Pascual L., Gadjov H., Kovacheva D., Petrov K., Amarilla J. M., Rojas R. M., Martin-Luengo M. A., Rojo J. M. "Nanosize LiNiyMn2-yO(4) (0, y <= 0.5) spinels synthesized by a sucrose-aided combustion method. Characterization and electrochemical performance" *J. Mater. Chem.* 14(10), 1640-1647, 2004.
- Caballero A., Cruz M., Hernan L., Melero M., Morales J., Castellon E. R. "Nanocrystalline materials obtained by using a simple, rapid method for rechargeable lithium batteries" *J. Power Sources* 150, 192-201, 2005.
- Baibarac M., Lira-Cantu M., Oro-Sole J., Casan-Pastor N, Gomez-Romero P. "Electrochemically functionalized carbon nanotubes and their application to rechargeable lithium batteries" *SMALL* 2(8-9), 1075-1082, 2006.

### ➤ Fotovoltaica

- J. Bisquert. "Fractional diffusion in the multiple trapping regime and revision of the equivalente with the continuous time random walk". *Physical Review Letters*, 91, 010602 (2003).
- Haque S. A., Palomares E., Cho B. M., et al. "Charge separation versus recombination in sensitized nanocrystalline solar cells: the minimization of

kinetic redundancy". Journal of The American Chemical Society 127 (10): 3456-3462 Mar 16 2005.

- R. Pacios, A. Chatten, K. Kawano, J. Nelson, D. D. C. Bradley, J. R. Durrant. "Effects of photooxidation on the performance of MDMO-PPV: PCBM solar cells". Adv. Funct. Mat. 16, 2117-2126 (2006).
- M. Alvaro, P. Atienzar, P. de la Cruz, J. L. Delgado, V. Troiani, H. Garcia, F. Langa, A. Palkar and L. Echegoyen. "Synthesis, photochemistry and electrochemistry of single wall carbon nanotubes having pyridyl groups and of their metal complexes with zinc porphyrin. Comparison with pyridyl-substituted fullerenes". J. Am. Chem. Soc. 128, 6626-6635 (2006).
- K. Ohkubo, J. Ortiz, L. Martín-Gomis, F. Fernández-Lázaro, A. Sastre-Santos, S. Fukuzumi "Fullerene Acting as an Electron Donor in a Donor-Acceptor Dyad to Attain the Long-Lived Charge-Separated State by Complexation with Scandium Ion". Chem. Commun. 589-591 (2007).

#### ➤ Supercondensadores

- Picó, F.; Ibáñez, J.; Centeno, T. A.; Pecharrromán, C.; Rojas, R. M.; Amarilla, J. M.; Rojo, J. M. Electrochim. "RuO<sub>2</sub>.xH<sub>2</sub>O/NiO composites as electrodes for electrochemical capacitors. Effect of the RuO<sub>2</sub> content and the thermal treatment on the specific capacitance". Electrochim. Acta 51, 4693-4700 (2006).
- V. Ruiz, C. Blanco, E. Raymundo-Piñero, V. Khomenko, F. Béguin and R. Santamaría. "Effects of thermal treatment of activated carbon on the electrochemical behaviour in supercapacitors". Electrochimica Acta, Volume 52, Issue 15, 20 April 2007, Pages 4969-4973.

## 6. Proyectos relevantes en España y en la UE

### En la UE

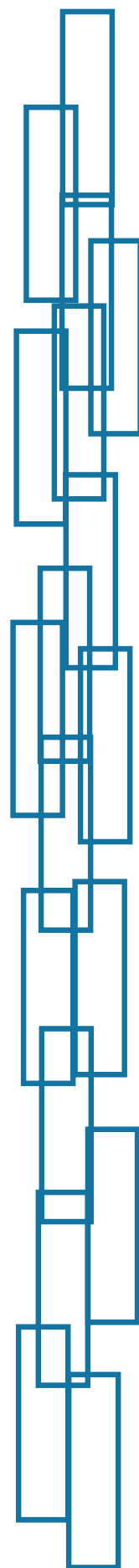
Algunos ejemplos de proyectos representativos en los que la nanotecnología tenga un papel preponderante o significativo:

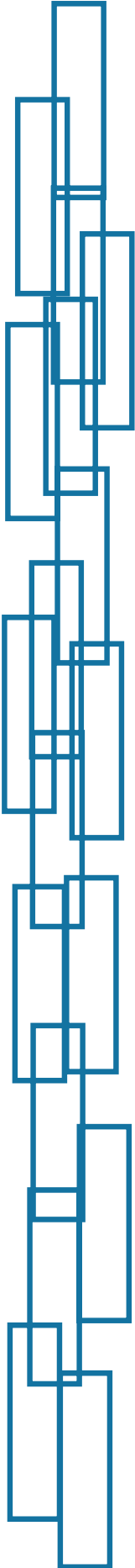
#### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

Red Marie Curie HyTRAIN, "Hydrogen Storage Research Training Network", para formación de investigadores en el ámbito, entre otras cosas, de nanomateriales para almacenamiento de hidrógeno. Participa la Universidad de Alicante como único socio español.

Proyecto NESSHY, "Novel Efficient Solid Storage for Hydrogen". Almacenamiento de hidrógeno en hidruros metálicos, materiales nanoestructurados y materiales de almacenamiento químico (sin participación española).

Proyecto FCANODE, "Non-noble catalysts for PEMFC anodes", haciendo especial hincapié en la obtención de nuevos catalizadores con tamaños de partícula controlados en la nanoescala (sin participación española).





Proyecto ZEOCELL, "Nanostructured electrolyte membranes based on polymer/ionic liquids/zeolite composites for high temperature pem fuel cells", con notable participación española: Instituto Nanociencia de Aragón, Universidad de Zaragoza (coordinador), CEGASA y CIDETEC (contrato en negociación).

➤ **Baterías de litio**

Red de Excelencia ALISTORE, "Advanced lithium energy storage systems based on the use of nano-powders and nano-composite electrodes/electrolytes" (2004-2008), con la participación de la Universidad de Córdoba y el ICMAB-CSIC.

Proyecto NANOPOLIBAT, "Nanotechnology for advanced rechargeable polymer lithium batteries" (2006-2009), liderado por VARTA, con la participación del ICMAB.

Proyecto ILLIBATT, "Ionic liquid based Lithium batteries" (2006-2009), coordinado por TU Graz, con la participación de CEGASA y CIDETEC.

➤ **Fotovoltaica**

Proyecto LARCIS, "Large-Area CIS Based Solar Modules for Highly Productive Manufacturing" liderado por el ZSW.

Proyecto ATHLET "Advanced Thin Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics" liderado por Hahn-Meitner-Institut

**En España**

Igualmente, se incluyen algunos proyectos de especial relevancia que incluyen en mayor o menor medida elementos de nanotecnología:

➤ **Pilas de combustible e hidrógeno**

Proyecto MEC-Consolider: "Electrocatalisis fundamental y aplicada en pilas de combustible" (Instituto Universitario de Electroquímica de la UA).

Proyecto CENIT DEIMOS: "Desarrollo e Innovación en Pilas de Combustible de Membrana y Óxido Sólido", que entre otras actividades contempla la investigación tecnológica en catalizadores y membranas para PEMFC poliméricas nanoestructurados.

➤ **Baterías de litio**

Proyecto MEC: "Materiales electroactivos para baterías de ion-litio obtenidos por nanodispersión in situ o ex situ". (Universidad de Córdoba).

Proyecto MEC: "Orden y desorden en sistemas nitrurados de aniones mixtos: efecto sobre procesos de intercalación, actividad electroquímica y propiedades de transporte" (ICMAB).

Proyecto MEC: "Nuevos materiales para baterías Litio ion de alto voltaje" (UCM, ICMM, San Pablo CEU, Carlos III, ICMA, PCYTA y CIDETEC).

### ➤ Fotovoltaica

CONSOLIDER HOPE (2007-2012) en el que intervienen 12 grupos de investigación, tanto de universidad como de centros tecnológicos. Los grupos participantes son: Universitat Jaume I de Castelló, Institut Català d'Investigació Química (Tarragona), Ikerlan (Mondragón), Universidad de Castilla la Mancha (Toledo), Universidad Miguel Hernández de Elche, Universitat d'Alacant, Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona), Institut de Ciències Fotòniques (Barcelona) Universidad Politécnica de Cartagena, Universidad Pablo Olavide de Sevilla, Universitat Rovira i Virgili de Tarragona, CIDETEC (San Sebastián).

### ➤ Supercondensadores

Proyecto MEC, MAT 2004-03480-C02-01 (2004-2007). "Materiales de carbono nanoporosos para aplicaciones energéticas" del Grupo de Materiales Compuestos del INCAR.

Proyecto MEC, MAT 2005-01606 "Materiales de electrodo para baterías de ión-litio (cátodos) y para supercondensadores" del ICMM.

## 7. Grupos españoles y europeos más relevantes

### En la UE

#### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

- PEMFC: CNR-ITAE, CEA, KTH, Fraunhofer Solar Institut of Energy, Imperial College of Chemistry.
- SOFC: Riso National Laboratory (DK).

#### ➤ Baterías de litio

- J. M. Tarascon (U. Picardie-J. Verne), CEA-LETI, ICMCB Bordeaux, P. Novak (Max Planck Institute), B. Scrosati (U. Roma-La Sapienza), P. G. Bruce (St. Andrews).
- M. Winter (TU Graz), S. Passerini (ENEA).

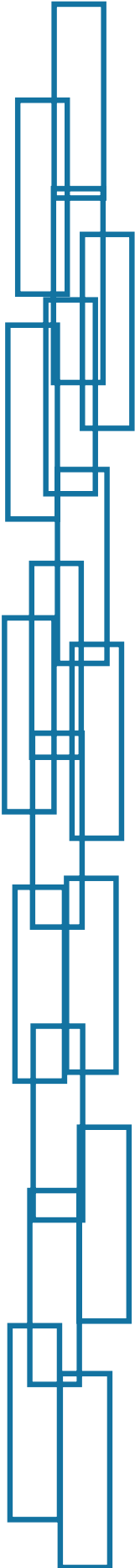
#### ➤ Fotovoltaica

- Energy research Centre of the Netherlands (ECN).
- Northumbria University (Reino Unido).
- Solar Institute, Aachen (Alemania).
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE).

#### ➤ Supercondensadores

- Poznań University of Technology. Faculty of Chemical Technology, Institute of Chemistry and Technical Electrochemistry, Division of Applied Electrochemistry.
- Grupo de E. Frackowiak.
- Grupo de Energie et environnement del CRMD, CNRS en Orleans liderado por F. Beguin.



- 
- CRMD, CNRS University, 1B rue de la Férollerie, 45071 Orléans Cedex 02, Francia.
  - Paul Scherrer Institute (R. Kötz). General Energy Research Department (ENE), Electrochemistry, Suiza.

## En España

### ➤ Pilas de combustible e hidrógeno

- Instituto de Carboquímica de Zaragoza (ICB-CSIC), Universidad de Alicante (UA), Universidad de La Laguna (ULL), CIDETEC.
- En SOFC, P. Nuñez y J. C. Ruiz-Morales (ULL); con la utilización de microsferas para la optimización de la microestructura de materiales electródicos.

### ➤ Baterías de litio

- ICMAB: P. Gómez-Romero con materiales híbridos nanoestructurados y nanotubos de carbono, y R. Palacín, en síntesis y caracterización de nuevos materiales nitrurados para cátodos de alto voltaje.
- U. Córdoba, con los grupos de J. Morales y J. L. Tirado, trabajando tanto en ánodos como en cátodos nanoparticulados y nuevos materiales electródicos y su caracterización.
- ICMN-CSIC (J. M. Amarilla y J. M. Rojo), nuevas vías de síntesis de materiales catódicos nanoparticulados y su caracterización electroquímica.

### ➤ Fotovoltaica

- Universidad Complutense de Madrid: Nazario Martín del Dept. Química orgánica, ha trabajado con materiales absorbentes orgánicos y se dedica a las celdas poliméricas.
- Universitat Jaume I de Castelló (UJI): Joan Bisquert del Dept. de Ciencias Experimentales se dedica a la mejora de la estabilidad y la eficiencia de las Dye -sensitized solar cells.

### ➤ Supercondensadores

- INCAR (CSIC): en dos grupos:
  - Ricardo Santamaría y Rosa Menéndez, entre otros, que trabajan en la preparación de materiales de carbono activo para electrodos de supercondensadores.
  - Teresa Centeno: En síntesis de carbones mesoporosos por réplica de materiales mesoestructurados de sílice. Obtención de carbones activos a partir de pulpa de manzana (ha dado lugar a una patente).
- UA: (A. Linares-Solano). Síntesis de materiales carbonosos y su uso en aplicaciones energéticas.