

Plan de Investigación (PI)

Título: Síntesis de materiales híbridos basados en Grafeno, para su aplicación en dispositivos de almacenamiento electroquímico de energía.

Doctorando: Jaime Sánchez Sánchez
Jaimesanchez.sa@gmail.com
Tutor: Dra. Pilar Ocón Esteban
Director: Rebeca Marcilla
Imdea Energía
Co-Director: Afshin Pendashteh
Imdea Energía

Matrícula: 06/2016
Fecha: 26/09/2016

1 . Antecedentes y estado actual del tema

1.1. Marco contextual del presente trabajo de investigación

Impulsado por el desarrollo socioeconómico y el aumento de la población mundial, el consumo energético ha ido creciendo exponencialmente y con especial intensidad desde mitad del siglo XX en adelante. Actualmente, los combustibles fósiles y sus derivados representan gran parte del mix energético global, su importancia es tal que aún no podemos vaticinar el fin de dicho recurso, a pesar de ser un bien con fecha de caducidad determinada. Esta dependencia, sumada a la preocupación por el calentamiento global y la necesidad de reducir la contaminación medioambiental promueve el desarrollo y la investigación de nuevos sistemas de generación de energía que sean altamente eficientes, seguros y competitivos. En este sentido, la implementación progresiva de fuentes de energía renovables puede contribuir a reducir los problemas ambientales manteniendo el ritmo de crecimiento mundial. Sin embargo, a pesar de las innumerables ventajas asociadas a las energías renovables, su naturaleza discontinua y, en gran medida dependiente de factores climáticos, hace que sea totalmente necesario disponer de sistemas alternativos de almacenamiento de energía que garanticen cierta continuidad, un mayor rendimiento en el suministro eléctrico y una respuesta apropiada a los picos de demanda.[1,2] Ha sido en la última década, cuando el rendimiento de dichos dispositivos de almacenamiento ha aumentado considerablemente debido al descubrimiento de nuevos materiales de electrodo. Especialmente el empleo de nanomateriales y de nuevos materiales híbridos que combinan procesos faradaicos con capacitivos, ha permitido un avance no solo en aplicaciones estacionarias, sino un impulso fundamental en las aplicaciones orientadas hacia el sector transporte [3]. Las ventajas clave que permiten dichos avances, incluyen inusuales propiedades eléctricas, mecánicas y de superficie que convierten a los materiales nanoestructurados híbridos en una prometedora elección para su empleo como electrodo en el desarrollo de nuevas tecnologías relacionadas con dispositivos de almacenamiento de energía electroquímica o bien como una excelente alternativa a los ya empleados materiales electrocatalíticos en dispositivos como pilas de combustible o baterías metal-aire [4,5].

1.2. Sistemas de almacenamiento de energía.

Existen diversos tipos de tecnologías para el almacenamiento de energía, actualmente las centrales hidroeléctricas de bombeo son ampliamente utilizadas y se presentan como la tecnología capaz de almacenar la mayor capacidad de energía de forma centralizada.

Sin embargo, en la presente tesis doctoral nos centraremos en las tecnologías de almacenamiento electroquímico de energía, las cuales están evolucionando e implantándose progresivamente desde aplicaciones de electrónica de consumo de baja potencia, como smartphones o tablets hacia otras de potencia intermedia o alta relacionadas con las redes inteligentes o los vehículos eléctricos.

Dos de los dispositivos más comúnmente utilizados en el almacenamiento electroquímico de energía son las baterías y los supercondensadores. Las baterías, transforman la energía química en eléctrica a través de una reacción electroquímica de óxido-reducción que tiene lugar entre el ánodo y el cátodo intercambiando electrones a través del circuito eléctrico. Por otro lado, los supercondensadores o condensadores electroquímicos son dispositivos que se asemejan en cierto modo a una batería en su construcción; donde dos electrodos, separados por un material no conductor, están sumergidos en un electrolito, teniendo un funcionamiento análogo al de los condensadores convencionales, ya que al aplicar una diferencia de potencial entre electrodos, se da lugar a la separación de cargas de distinto signo en la interfase electrodo/electrolito, lo que conduce a la formación de la doble capa eléctrica [6].

Las baterías son los dispositivos de almacenamiento electroquímico de energía más utilizados en aplicaciones que requieren una alimentación de energía prolongada y constante, debido a su alta densidad de energía y versátil manejo. Sin embargo, su baja densidad de potencia las limita para su uso en aplicaciones que demanden una gran intensidad de corriente en periodos cortos de tiempo. Además, por el hecho de basar su mecanismo en reacciones redox que conllevan cambios químicos y/o estructurales, la capacidad inicial se pierde al cabo de unos pocos miles de ciclos de carga-descarga debido a la degradación que sufren los materiales de electrodo.

Por el contrario, los supercondensadores proporcionan una densidad de potencia superior a las baterías durante un número muy elevado de ciclos de carga-descarga, ya que el mecanismo electrostático de formación de la doble capa eléctrica no implica degradación de electrodos. Sin embargo, los condensadores electroquímicos almacenan cantidades de energía menores que las baterías siendo su mayor desventaja actualmente [7].

Es importante destacar que baterías y supercondensadores pueden ser perfectamente complementarios. La síntesis y desarrollo de materiales híbridos para electrodos que combinen ambos mecanismos es un camino para la mejora simultánea de energía y potencia en un mismo dispositivo. En este caso, podríamos estar hablando de supercondensadores híbridos preparados con materiales de electrodo faradaicos tipo batería de alta capacitancia, junto a materiales conductores de elevada área superficial y porosidad.

La Figura 1 muestra el rendimiento en capacitancia para electrodos capacitivos como son los diferentes materiales carbonosos, así como los altos valores de capacitancia para materiales faradaicos tipo batería como diversos óxidos metálicos.

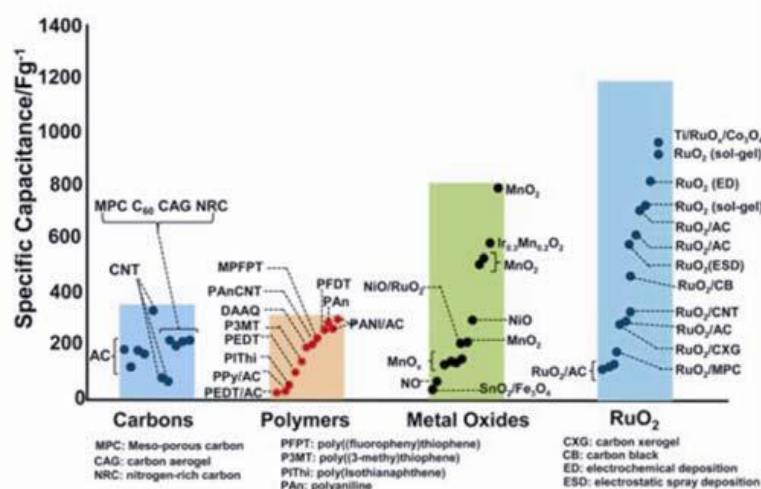


Figura 1. Valores de capacitancia para distintos tipos de materiales para electrodo [8]. Por otro lado, este tipo de materiales híbridos tiene un gran potencial como material electrocatalítico en

las reacciones de reducción (ORR) y evolución (OER) de oxígeno para sistemas de almacenamiento de energía como baterías metal-aire o pilas de combustible. La reacción de reducción de oxígeno (ORR) se considera fundamental en baterías metal-aire, ya que permite alcanzar grandes densidades de energía para un peso determinado[9]. Si bien, dichas baterías presentan un precio bastante competitivo, su cinética lenta presente en el cátodo de las mismas requiere el uso de catalizadores con costes por regla general elevados. Actualmente, los materiales basados en platino, oro, rutenio y sus aleaciones son los catalizadores mayoritariamente empleados y comercializados [10]. Por otro lado, la reacción de evolución de oxígeno (OER) se considera crucial en el desarrollo de aplicaciones recargables de almacenamiento de energía. Sin embargo, el platino y sus aleaciones muestran una pobre actividad catalítica en este caso, lo que hace el uso de co-catalizadores totalmente necesario. Por ello, numerosos esfuerzos han sido empleados a la hora de encontrar catalizadores bifuncionales eficientes para ambas reacciones, más abundantes y con un coste razonable que sustituyan parcialmente a los comúnmente comercializados preservando una alta actividad catalítica, así como determinada estabilidad química [11,12].

1.3. Materiales híbridos basados en grafeno

El término “grafeno”, que tiene su raíz en las palabras “grafito” y “alqueno”, fue por primera vez acuñado para describir una única lámina bidimensional componente del grafito [13]. El grafeno puede definirse como una lámina de un átomo de espesor constituida por una disposición hexagonal de átomos de carbono con hibridación sp^2 . Puede ser considerado como el origen de todas las otras formas gráficas, ya que puede empaquetarse una lámina sobre otra, para formar grafito (3D) o enrollarse en forma de nanotubos de carbono (1D).

La Figura 2 representa las diferentes estructuras en las que se presentan los distintos alótropos del carbono.

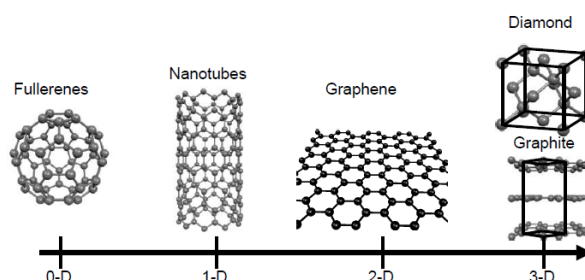


Figura 2. Diferentes alótropos del carbono

Sus excelentes propiedades y su gran campo de aplicación, muestran a este material como uno de los más revolucionarios en el presente y que probablemente tendrá un gran impacto en muchas industrias y sectores en el futuro. Las consideraciones anteriores respecto a las propiedades del grafeno se refieren siempre a una estructura de grafeno ideal y sin defectos. Este tipo de situación, de un grafeno casi ideal se alcanza solamente en ciertos casos cuando el grafeno es preparado por técnicas de deposición química en fase vapor (CVD)[14], las cuales dan lugar a materiales de alta calidad pero en cantidades ínfimas. Por otro lado, existen métodos químicos capaces de producir cantidades superiores, pero con mayores defectos en su estructura y composición. Uno de los métodos químicos más habituales es el método Hummers, el cual parte de un tratamiento fuertemente oxidativo del grafito y su posterior reducción química. Con dicha oxidación se pretende exfoliar los diferentes planos gráficas, los cuales adquieren un carácter hidrofílico y por tanto dispersable en agua, obteniendo así óxido de grafeno (GO). Finalmente se aplica una reducción que permite eliminar parte de los grupos funcionales formados durante la oxidación, recuperar parte de la conductividad perdida y obtener un producto final conocido como óxido de grafeno reducido (rGO), forma gráficas mayoritariamente empleada en dispositivos de almacenamiento de energía gracias a su gran versatilidad.

Los materiales basados en grafeno se consideran prometedores como nuevos materiales de electrodo para sistemas de almacenamiento de energía principalmente debido a su alta estabilidad química, elevada conductividad eléctrica ($\approx 2000 \text{ S/cm}$) y elevada superficie específica experimental ($\approx 1500 \text{ m}^2/\text{g}$) [15].

La elevada conductividad eléctrica es causada por sus propiedades electrónicas únicas, siendo un material zero-gap. Además la movilidad de los portadores de carga se encuentra en torno a los $200000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ lo que supone un valor en torno a las 100 veces superior al Silicio [16].

Por otro lado, su gran superficie específica teórica ($2630 \text{ m}^2/\text{g}$), increíblemente superior a la del grafito ($\approx 10 \text{ m}^2/\text{g}$) no se corresponde con su valor experimental ($\approx 1500 \text{ m}^2/\text{g}$), esto es debido a las interacciones existentes entre capas vecinas debido a fuerzas de Van der Waals y al más que probable re-apilamiento entre capas, el cual trataremos a continuación como una de las razones clave a la hora de sintetizar materiales híbridos avanzados en base grafeno.

La Figura 3 representa como el número de publicaciones registradas en la base de datos Scopus para las palabras clave “grafeno” y “supercondensador” ha ido aumentando exponencialmente en los últimos años desde el aislamiento del grafeno en 2010.

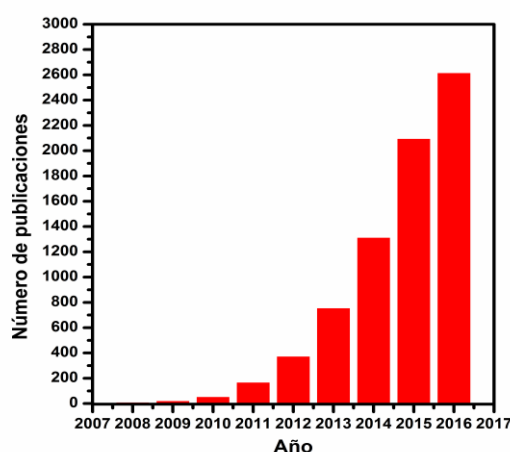


Figura 3. Número de publicaciones registradas por año en el portal con las palabras clave “Graphene” y “Supercapacitor”

El grafeno como gran parte de los materiales bidimensionales tiene una fuerte propensión al re-apilamiento entre capas, lo que reduce la capacidad de almacenamiento debido a la disminución de su superficie específica. Uno de los caminos para evitar este re-apilamiento es el uso de óxidos metálicos que pueden actuar como espaciadores para inhibir la aglomeración de las capas de grafeno, manteniendo así valores elevados de superficie específica y por consiguiente de almacenamiento de energía sintetizando así lo que denominamos material híbrido en base grafeno. Además, la inclusión de partículas de óxidos metálicos aporta otra serie de beneficios como la aparición de ciertos efectos sinérgicos que mejoran las propiedades electroquímicas del material híbrido respecto a sus componentes individuales. De este modo, estamos combinando materiales electroactivos como los óxidos metálicos con un material fuertemente conductor como el grafeno.

Como resultado a lo recientemente expuesto, diversas publicaciones han perseguido la combinación óptima entre un material tipo capacitivo como son los materiales carbonosos nanoestructurados (entre los que se encuentra el grafeno) y un material tipo batería como son los óxidos metálicos o los polímeros conductores para alcanzar elevados valores posibles de capacidad eléctrica acompañados de una gran estabilidad a lo largo de los ciclos [17–20]. Sin embargo, existen una gran multitud de hibridaciones posibles aún no estudiadas cuyas propiedades pueden resultar únicas, destacables y publicables desde el punto de vista científico.

1.4. Objetivo general, hipótesis planteadas y novedad del trabajo.

En base a las múltiples ventajas expuestas y las diversas aplicaciones finales de este tipo de materiales híbridos avanzados, el **objetivo principal** que persigue la presente tesis doctoral es **contribuir al conocimiento de materiales híbridos con alto rendimiento electroquímico, producidos mediante diferentes métodos de síntesis, de tal modo que puedan ser aplicables en dispositivos de almacenamiento de energía principalmente supercondensadores o bien como materiales electrocatalíticos en baterías metal-aire.**

Las **hipótesis** que se plantean para alcanzar dicho objetivo se enuncian a continuación:

Hipótesis 1: Los materiales híbridos basados en materiales carbonosos como el grafeno y materiales tipo batería como los óxidos metálicos presentan una conductividad elevada, una superficie específica alta y un comportamiento de almacenamiento de energía superior al de los propios elementos por separado, debido a la existencia de efectos sinérgicos.

Hipótesis 2: Empleando diferentes condiciones de síntesis, se experimentan cambios en la morfología y el tamaño de partícula de los diferentes óxidos metálicos empleados, lo que resulta en una determinada superficie específica, que finalmente afecta al comportamiento electroquímico del propio material.

Hipótesis 3: Los materiales híbridos basados en materiales carbonosos nanoestructurados y óxidos metálicos presentan una inusual actividad catalítica debido a efectos sinérgicos de acoplamiento químico. El dopaje del grafeno con heteroátomos electronegativos como nitrógeno, boro o azufre puede mejorar el anclaje de los distintos cationes metálicos empleados.

La **novedad** que pretende introducir la presente tesis doctoral consiste en potenciar las ventajas asociadas a los efectos sinérgicos que resultan de la combinación entre distintos óxidos metálicos u óxidos metálicos mixtos con múltiples estados de valencia ($A_xB_yC_zO_4$; A,B,C=Ni, Mn, Co, Cu Fe...) por ejemplo $NiCoMnO_4$, que incorporados a materiales carbonosos de alta superficie específica y elevada porosidad (óxido de grafeno, fibras de nanotubos de carbono...) garantizan una mejora sustancial respecto al uso de los propios elementos por separado, tanto en dispositivos de almacenamiento electroquímico como en el uso de los mismos como material electrocatalítico en baterías metal-aire. Además de todo ello, dichos materiales pueden ser dopados con heteroátomos como Nitrógeno, Boro, Azufre, con el fin de mejorar aún más sus prestaciones energéticas. Resultando en posibles compuestos como Fe_3O_4 -rGO, Co_3O_4 -NrGO...

1.5. Experiencia previa del grupo de Investigación.

La Unidad Procesos Electroquímicos (UPE) del Instituto IMDEA Energía como grupo de investigación basa su trabajo en la investigación de materiales avanzados para dispositivos electroquímicos de almacenamiento de energía como supercondensadores y baterías. Ha participado y participa en proyectos cuyas actividades fundamentales son aplicables a los retos que engloba la presente tesis doctoral:

- Materiales para supercondensadores de alta densidad energética y baterías avanzadas.
- Síntesis de óxidos metálicos, desarrollo de materiales carbonosos con prestaciones mejoradas respecto a los comerciales y síntesis de materiales híbridos avanzados como óxidos de grafeno o nanotubos de carbono junto a óxidos metálicos para su uso en dispositivos de almacenamiento de energía.
- Diseño y modelización de reactores electroquímicos: baterías de flujo, baterías metal-aire y supercondensadores.
- Caracterización y ensayo de dispositivos electroquímicos de almacenamiento de energía a escalas de laboratorio y planta piloto.

Los miembros del grupo han publicado más de 65 artículos en revistas internacionales, cuentan con más de 30 contribuciones a congresos nacionales e internacionales, tienen 6 patentes internacionales y en los últimos años han participado o participan en más de 15 proyectos,

algunos de ellos relacionados directamente con la temática de la presente tesis doctoral: “Propiedades Fundamentales y Aplicaciones del Grafeno y otros Materiales Bidimensionales MAD2D-CM, Referencia S2013/MIT-3007” “ALBUFERA Energy Storage: Desarrollo de baterías Aluminio-aire reversibles”. Los miembros del equipo de investigación se encuentran asimismo participando en diferentes redes y asociaciones internacionales como la JTI de Hidrógeno y Pilas de Combustible, o el Programa Conjunto sobre almacenamiento de energía de la Alianza Europea para Investigación en Energía (EERA) donde el Instituto IMDEA Energía participa como miembro asociado.

2 . Objetivos y planteamiento

Como **objetivos específicos** para la presente tesis doctoral, se pueden enumerar los siguientes:

Objetivo 1: Síntesis de materiales híbridos formados por óxidos metálicos u óxidos metálicos mixtos de tipo faradaico incorporados en un material capacitivo altamente conductivo como óxido de grafeno o óxido de grafeno dopado con heteroátomos como nitrógeno para posterior caracterización exhaustiva de los mismos y uso final en dispositivos de almacenamiento de energía.

Objetivo 2: Encontrar las condiciones óptimas de reacción en diferentes métodos de síntesis y preparar electrodos con una carga razonable de material activo ($\approx 10 \text{ mg/cm}^2$) cercanos a valores comerciales para obtener la mejor respuesta electroquímica posible en el dispositivo final.

Objetivo 3: Estudio de las propiedades electroquímicas de dichos materiales principalmente en medio acuoso, mediante técnicas electroquímicas como Ciclovoltametrías, Impedancias o ensayos de carga-descarga en celda electroquímica de tres electrodos con el fin de obtener la mejor respuesta en términos de capacidad eléctrica acompañada de una razonable estabilidad química.

Objetivo 4: Preparación de supercondensadores híbridos o dispositivos asimétricos con los materiales ya sintetizados y su posterior caracterización electroquímica mediante ensayos galvanostáticos de carga-descarga, impedancias o ciclovoltametrías con el fin de obtener valores de densidad de energía y densidad de potencia mayores o comparables a los ya presentes en bibliografía para dispositivos similares.

Objetivo 5: Uso de materiales híbridos como material electrocatalítico en las reacciones de reducción y evolución de oxígeno para su acoplamiento en el cátodo de baterías metal-aire reversible. Ensayos en disco rotatorio y en disco-anillo rotatorio.

De cara la consecución de los objetivos parciales y el objetivo general de la sección anterior se plantean los siguientes **hitos a conseguir**:

Hito 1: Selección de la combinación de materiales a sintetizar y estudio de la estructura y morfología de los mismos con el objetivo de buscar la combinación óptima para cada aplicación.

Hito 2: Funcionalizar la superficie del material o modificar su estructura con la finalidad de obtener las características idóneas para su aplicación en el almacenamiento electroquímico de energía, obteniendo la mejor respuesta en términos de capacitancia (valores superiores a los presentes en bibliografía y siempre tratando de mejorar los valores de los elementos del material híbrido por separado) y estabilidad en nuestro dispositivo en cuestión al cabo de una gran cantidad de ciclos de carga-descarga.

Hito 3: Definición de las condiciones necesarias para las reacciones de evolución (OER) y reducción de oxígeno (ORR) mostrando resultados de actividad catalítica para la reacción de reducción de oxígeno (ORR) como E_{onset} y densidades de corriente cercanos o superiores a los catalizadores convencionales de platino.

3 . Metodología y plan de trabajo

3.1. Definición de las tareas a realizar

Para realizar una óptima planificación temporal de las tareas a realizar acorde a los objetivos, es necesario acotar los objetivos a un determinado periodo de tiempo con la intención de cumplir los plazos de entrega final de la tesis en un periodo de tres años como podemos observar en la tabla 1 más adelante. Las **tareas** a desarrollar para cumplir cada uno de los objetivos son las siguientes:

Objetivo 1: Síntesis y caracterización de materiales híbridos.

Tarea 1.1. Selección de los materiales a emplear, tanto el material carbonoso (en muchos casos óxido de grafeno dopado o no con heteroátomos), como los cationes metálicos que van a formar parte de la estructura híbrida a sintetizar atendiendo a sus ventajas o propiedades.

Tarea 1.2. Selección del método de síntesis idóneo, tanto para el material carbonoso en cuestión, como para los óxidos metálicos, estudiando la posibilidad de adquirir alguno de ellos de manera comercial o sintetizarlo a partir de algún precursor.

Tarea 1.3. Sintetizar el material híbrido a partir de un determinado método de síntesis (coagulación electrostática, hidrotermal, electrodeposición...)

Tarea 1.4. Caracterizar el material mediante diversas técnicas de caracterización como difracción de rayos (XRD), espectroscopía Raman, análisis de superficie específica (BET), análisis termogravimétrico (TGA) y microscopía electrónica de transmisión (TEM).

Objetivo 2: Condiciones óptimas de reacción en diferentes métodos de síntesis y preparación de electrodos con una carga razonable de material activo ($\approx 10 \text{ mg/cm}^2$) cercanos a valores comerciales.

Tarea 2.1. Selección y optimización de las variables necesarias en cada caso que condicionen la reacción de formación del material híbrido (temperatura, presión, concentración, tiempo...)

Tarea 2.2. Preparar electrodos de trabajo mediante diversas técnicas de preparación (doctor blade, electrodeposición, casting...) sobre distintos soportes como espuma de níquel o malla de acero inoxidable con cargas de material activo cercanas a los valores comerciales ($\approx 10 \text{ mg/cm}^2$).

Objetivo 3. Testeo en dispositivos electroquímicos de los materiales sintetizados.

Tarea 3.1. Realizar estudios mediante diversas técnicas de caracterización electroquímica, bien sean ciclovoltametrías, impedancias o cargas-descargas en celdas de tres electrodos para obtener el material híbrido cuyos valores de capacitancia y estabilidad al cabo de miles de ciclos sean más satisfactorios.

Objetivo 4: Preparación de supercondensadores híbridos.

Tarea 4.1. Una vez seleccionado el material híbrido cuyo comportamiento en celdas de tres electrodos haya sido más satisfactorio, llevar dicho material a una celda swagelok de dos electrodos para observar su comportamiento como ánodo o cátodo en este tipo de dispositivos realizando una caracterización electroquímica exhaustiva mediante ensayos de carga-descarga, ciclovoltametrías o impedancias.

Objetivo 5: Uso de materiales híbridos como material electrocatalítico en las reacciones de reducción (ORR) y evolución (OER) de oxígeno para baterías metal-aire.

Tarea 5.1. Sacando ventaja de los materiales híbridos ya sintetizados para su aplicación en almacenamiento de energía, se estudiará a su vez su comportamiento catalítico preparando una tinta uniforme a partir del material activo, estudiando su comportamiento en ensayos de disco rotatorio y disco anillo rotatorio.

Tarea 5.2. Estudiar el comportamiento de dichos materiales en las reacciones de reducción (ORR) y evolución de oxígeno (OER) comparando resultados con los catalizadores comerciales de platino o con anteriores materiales híbridos sintetizados en bibliografía.

3.2. Impacto previsto

Los **resultados previstos** durante el desarrollo de la tesis doctoral son ambiciosos y de algún modo pretenden alcanzar el desarrollo de distintos materiales híbridos avanzados con características únicas y diferenciales en el almacenamiento de energía, que sean competitivos en el mercado con los ya actuales. Se ha apostado fuertemente desde numerosas instituciones por el grafeno como uno de los materiales bidimensionales más atractivos, creándose por ejemplo en Octubre de 2014 “Graphene Flagship” iniciativa donde industria y academia se dieron la mano para una investigación más rigurosa del material contando con más de 140 socios entre ellos empresas de alta reputación como Airbus, BASF o FIAT.

Existen multitud de combinaciones para formar materiales híbridos a un coste razonable con propiedades extremadamente sorprendentes que supongan un avance en los dispositivos de almacenamiento de energía. El número de dispositivos portátiles se ha disparado exponencialmente en los últimos 10 años, por ello la inversión para la mejora en las prestaciones de baterías o dispositivos de almacenamiento como supercondensadores, es completamente necesaria a la hora de atender las necesidades de los clientes. Por ello, el descubrimiento de un nuevo material híbrido o el desarrollo de una tecnología complementaria al Li-ion pueden jugar un papel clave en el avance de dichos dispositivos portátiles debido a su actual déficit de energía almacenada en algunos casos, o de estabilidad a lo largo de miles de ciclos en otros. En los casos de vehículos híbridos y eléctricos, los avances son cada vez son mayores, por ello, empresas como Maxwell está trabajando para unir supercondensadores con baterías de litio, con el fin de reducir el tamaño de la batería, aumentando al doble su capacidad y duración. Todo ello es debido a que un supercondensador ayuda a recuperar la energía de frenado, lo que se conoce como frenado regenerativo para así mejorar los consumos de combustible liberando dicha energía en picos de potencia o aceleraciones bruscas, dejando el uso de la batería para tramos de aceleración más constantes y graduales. Esta tecnología ya se está implementando en algunos medios empleados para el transporte público como trenes de cercanías o autobuses de línea [21].

La Unidad de Procesos Electroquímicos de la Fundación IMDEA Energía, lugar donde se realizarán las actividades de investigación de la presente tesis, cuenta con instalaciones perfectamente equipadas para la síntesis y puesta a punto de materiales como reactores hidrotermales de diferentes capacidades, hornos de vacío, centrífuga o molino de bolas. En la fundación además están a disposición equipos de caracterización físico-química como microscopios de barrido electrónico, difractómetro de rayos-X, equipos para el análisis mediante espectroscopia de infrarrojos y espectroscopía Raman, equipos para el estudio del área superficial como Quadrasorb y Autosorb así como para el análisis termogravimétrico. Para el tratamiento y empleo de materiales cuyas características de uso precisan una atmosfera inerte el laboratorio cuenta con una caja de guantes con atmosfera de argón y humedad controlada. Para el diseño y fabricación de celdas o prototipos se dispone de impresora 3D. También están a disposición varios potenciostatos para poder llevar a cabo la caracterización electroquímica, con material de laboratorio abundante como celdas swagelok y electrodos de referencia de distintas características para poder realizar los ensayos con la mayor exactitud posible en cada caso.

La experiencia en dispositivos de almacenamiento de energía de la Dra. Rebeca Marcilla así como las experiencia en síntesis inorgánica del Dr. Afshin Pendashteh hacen que sean las personas idóneas para co-dirigir y aportar conocimiento suficiente en la presente tesis doctoral [22,23]. Entre ambos suman más de 60 artículos científicos en revistas de reconocido prestigio y numerosas aportaciones en congresos internacionales.

3.3. Plan de financiación y movilidad

La presente tesis doctoral está financiada por diferentes estamentos: Consejería de Educación, Dirección General de Universidades e Investigación, Comunidad Autónoma de Madrid (CM) y cofinanciada por los Fondos Estructurales de la Unión Europea. Se encuentra asociada principalmente al proyecto de investigación “*Propiedades Fundamentales y Aplicaciones del Grafeno y otros Materiales Bidimensionales*” con número de Referencia S2013/MIT-3007, donde participan laboratorios de empresas como Repsol, Bruker, Albufera Energy Storage o Airbus cuya **capacidad innovadora** unida a la de los grupos CSIC, Imdea Materiales, Imdea Nanociencia, Universidad Autónoma de Madrid e Imdea Energía no ofrece ningún tipo de duda, debido a que se consideran centros y compañías con un elevado prestigio en el desarrollo y comercialización de materiales, así como tecnología invertida en energías limpias.

Para cumplir los plazos de entrega final de la tesis en un periodo de tres años como actualmente está regulado en la legislación, este proyecto tiene la posibilidad de financiar tres años de contrato predoctoral. De manera similar a otras tesis llevadas a cabo en el grupo de investigación, se prevé la realización de una estancia de investigación en un centro de reconocido prestigio de tres meses de duración. Se espera obtener la financiación de dicha estancia a través de fondos propios de la Unidad.

Tabla 1. Cronograma de la tesis doctoral.

	AÑOS	AÑO 1												AÑO 2												AÑO 3												
	MESES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
OBJETIVO 1																																						
Tarea 1.1.																																						
Tarea 1.2.																																						
Tarea 1.3.																																						
Tarea 1.4.																																						
OBJETIVO 2																																						
Tarea 2.1.																																						
Tarea 2.2.																																						
OBJETIVO 3																																						
Tarea 3.1.																																						
OBJETIVO 4																																						
Tarea 4.1.																																						
OBJETIVO 5																																						
Tarea 5.1.																																						
Tarea 5.2.																																						

4 . Bibliografía inicial

- [1] P.J.Hall, E.J. Bain, Energy-storage technologies and electricity generation, *Energy Policy* 36 (2008) 4352–4355.
- [2] I. Hadjipaschalis, A. Poullikkas, V. Efthimiou, Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications, *Renewable and sustainable energy reviews* 13 (2009) 1513–1522.
- [3] P. Simon, Y. Gogotsi, Materials for electrochemical capacitors, *Nature Materials* 7 (2008) 845–854.
- [4] A.S. Aricò, P. Bruce, B. Scrosati, J. Tarascon, W.V.A.N. Schalkwijk, Nanostructured materials for advanced energy conversion and storage devices, *Nature Materials* 4 (2005) 366–377.
- [5] L.F. Nazar, G. Goward, F. Leroux, M. Duncan, H. Huang, T. Kerr, J. Gaubicher, Nanostructured materials for energy storage, *International Journal of Inorganic Materials* 3 (2001) 191–200.
- [6] B.E. Conway, *Electrochemical Supercapacitors-Scientific Fundamentals and Technological Applications*, 1999 ISBN:978-1-4757-3058-6.
- [7] P. Simon, Y. Gogotsi, B. Dunn, Where Do Batteries End and Supercapacitors Begin?, *Science* 343 (2014) 1210–1211.
- [8] G. Yu, X. Xie, L. Pan, Z. Bao, Y. Cui, Hybrid Nanostructured materials for high performance electrochemical capacitors, *Nano Energy* 2 (2012) 213–234.
- [9] A. Rahman, X. Wang, C. Wen, High Energy Density Metal-Air Batteries : A Review, *Journal of the Electrochemical Society* 160 (2013). 1759–1771.
- [10] E. Herrero, J. Hern, J. Solla-gull, Gold nanoparticles synthesized in a water-in-oil microemulsion : electrochemical characterization and effect of the surface structure on the oxygen reduction reaction, *Journal of the Electroanalytical Chemistry* 574 (2004) 185–196.
- [11] Y. Liang, Y. Li, H. Wang, J. Zhou, J. Wang, T. Regier, H. Dai, Co₃O₄ nanocrystals on graphene as a synergistic catalyst for oxygen reduction reaction, *Nature Materials* 10 (2011) 780–786.
- [12] K. Wu, Q. Zeng, B. Zhang, X. Leng, D. Su, I.R. Gentle, D. Wang, Structural Origin of the Activity in Mn₃O₄-Graphene Oxide Hybrid Electrocatalysts for the Oxygen Reduction Reaction, *ChemSusChem*. 8 (2015) 3331–3339.
- [13] H.P. Boehm, R. Setton, E. Stumpp, Nomenclature and terminology of graphite intercalation compounds, *Carbon* 24 (1986) 241–245.
- [14] X. Li, W. Cai, J. An, S. Kim, J. Nah, D. Yang, R. Piner, A. Velamakanni et al., Large-Area Synthesis of High-Quality and Uniform Graphene Films on Copper Foils, *Science* 314 (2012) 1312–1314.
- [15] R. Raccichini, A. Varzi, S. Passerini, B. Scrosati, The role of graphene for electrochemical energy storage, *Nature materials* 14 (2015) 271–279.
- [16] Y. Zhang, Y. Tan, H.L. Stormer, P. Kim, Experimental observation of the quantum Hall effect and Berry 's phase in graphene, *Nature letters* 438 (2005) 201–204.
- [17] S. Chen, J. Zhu, X. Wu, Q. Han, X. Wang, Graphene Oxide-MnO₂ Nanocomposites for supercapacitors, *ACS Nano* 4 (2010) 2822–2830.
- [18] A. Chidembo, H. Aboutalebi, K. Konstantinov, M. Salari, B. Winton, et al., Globular reduced graphene oxide-metal oxide structures for energy storage applications, *Environmental Science* 5, (2012) 5236–5240.
- [19] G.H. Jeong, S. Baek, S. Lee, S. Kim, Metal Oxide / Graphene Composites for Supercapacitive Electrode Materials, *Chemistry an Asian Journal* (2016) 949–964.
- [20] X. Fan, B. Phebus, L. Li, S. Chen, Graphene-Based Composites for Supercapacitor Electrodes, *Science of Advanced Materials* 7 (2015) 1–29.
- [21] D. Pavel, S. Lubos, THE ENERGY STORAGE SYSTEM WITH SUPERCAPACITOR FOR PUBLIC TRANSPORT, *University of West Bohemia in Plzen* (2009) 1826–1830.

- [22] A. Pendashteh, M.S. Rahmanifar, R.B. Kaner, M.F. Mousavi, Facile synthesis of nanostructured CuCo_2O_4 as a novel electrode material for high-rate supercapacitors, Chem. Commun. (Camb). 50 (2014) 1972–1975.
- [23] A. Pendashteh, J. Palma, M. Anderson, R. Marcilla, Facile Synthesis of NiCoMnO_4 Nanoparticles as Novel Electrode Materials for High-Performance Asymmetric Energy Storage Devices, RSC Advances 6 (2016) 28970–28980.

Firma Doctorando

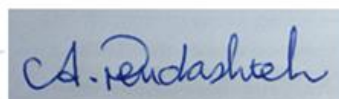


Jaime Sánchez Sánchez

Vº Bº Director



Rebeca Marcilla



Afshin Pendashteh

Vº Bº Tutor



Pilar Ocón

ANEXO I : Curriculum vitae del director o directores de la tesis

Parte A. DATOS PERSONALES		Fecha del CVA	20/09/2016
Nombre y apellidos	REBECA MARCILLA GARCÍA		
DNI/NIE/pasaporte	12779535E	Edad	37
Núm. identificación del investigador	Researcher ID	C-5889-2012	
	Código Orcid		

A.1. Situación profesional actual

Organismo	Imdea Energy Institute		
Dpto./Centro	Imdea Energy Institute		
Dirección	Avda. Ramón de la Sagra, 3, Móstoles		
Teléfono	91 737 11 31	correo electrónico	rebeca.marcilla@imdea.org
Categoría profesional	Investigador titular	Fecha inicio	01/10/2010
Espec. cód. UNESCO	2210.05, 2210.06, 2304.13, 3303.09		
Palabras clave	Supercapacitors, electrochemical energy storage, ionic liquid-based electrolytes, electrochemistry		

A.2. Formación académica (título, institución, fecha)

Licenciatura/Grado/Doctorado	Universidad	Año
Ingeniería Química	University of the Basque Country (UPV/EHU)	2002
Doctorado en Ciencias Químicas	Polymer Science and Technology Department University of the Basque Country /CIDETEC (Research Centre)	2006

A.3. Indicadores generales de calidad de la producción científica

Nº tesis doctorales dirigidas en los últimos 10 años:	2+3 (2 defendida y 3 en desarrollo)
Nº trabajos postdoctorales dirigidos en los últimos 10 años:	4
Publicaciones:	54 (primera en 2004)
Citas totales	2006 (Web of Science)
Citas/año en los últimos 5 años:	301 (Web of Science)
Publicaciones en el primer cuartil:	45
Índice h:	25

Parte B. RESUMEN LIBRE DEL CURRÍCULUM (máximo 3500 caracteres, incluyendo espacios en blanco)

Periodo predoctoral PhD (2002-2006): Durante mi periodo de formación como investigadora predoctoral (2002-2006), participé en varias publicaciones importantes (12 artículos) acerca del Desarrollo de Líquidos Iónicos, tanto poliméricos como funcionales, así como su Aplicación en Electroquímica y en Nanotecnología. Como consecuencia, el grupo especializado de polímeros de la RSEQ-GEP) me otorgó el premio a la "mejor tesis doctoral en polímeros del bienio 2005-2006"

Periodo postdoctoral (2006-2010): Después el doctorado me uní a CIDETEC (centro de investigación especializado en electroquímica) en San Sebastián (2006-2010) como Investigador Junior (Project Manager) obteniendo el puesto de Investigador Asistente Senior después de 18 meses. En este periodo (2007-2008) disfruté de una estancia investigadora en el grupo del Prof. Franco Cacialli (Londres Centro de nanotecnología del University College London) desarrollando celdas electroquímica emisoras de luz (LECs) y

profundizando en la caracterización electro-óptica de estos dispositivos. Durante estos cuatro años en CIDETEC, contribuí con mi experiencia en líquidos iónicos y polímeros en el desarrollo de distintos tipos de dispositivos electroquímicos como dispositivos electrocrómicos, células solares fotoelectroquímicas y baterías de ion-litio. Además, en este período mostré un pensamiento independiente y creativo aceptando el reto de crear una nueva línea de investigación en células solares en el centro. Mi contribución científica durante este período fue muy productivo resultante en 24 artículos científicos, algunos de ellos sin la presencia de mi supervisor de PhD y algunos de ellos ya como autor principal.

Investigación independiente (2010-actualidad): En octubre de 2010 me trasladé a Madrid para trabajar como Investigadora Asistente Senior en la unidad de Procesos Electroquímicos del Instituto IMDEA Energía. Mi principal objetivo era lanzar una nueva línea de investigación sobre el desarrollo de dispositivos de almacenamiento electroquímico de energía, en particulares supercondensadores, mediante el uso de nuevos electrolitos iónicos basados en líquidos iónicos. Desde que me uní a Instituto IMDEA Energía estoy consolidando mi posición como investigadora independiente dirigiendo mis propias líneas de investigación contando con el apoyo de 4 investigadores predoctorales y 2 postdoctorales y numerosos estudiantes de máster. Desde Enero del 2012 cuento con un contrato Ramon y Cajal que ha ayudado a dar estabilidad a mi carrera científica. En julio de 2015 fui promocionada a Investigadora Senior con un contrato indefinido. En estos años, a pesar de tener a partir de una nueva línea de investigación he publicado 16 artículos científicos, siendo la autora principal y la líder de la línea de investigación en los últimos 8.

Parte C. MÉRITOS MÁS RELEVANTES (ordenados por tipología)

C.1. Publicaciones

Las publicaciones más representativas se detallan a continuación (*corresponding author):

- [1] *"Influence of Ionic Liquids on the Electrical Conductivity and Morphology of PEDOT:PSS Films"* M. Döbbelin, **R. Marcilla**, M. Salsamendi, C. Pozo-Gonzalo, P.M. Carrasco, J.A. Pomposo, D. Mecerreyes, *Chemistry of Materials* 19 (2007) 2147.
- [2] *"Multiresponsive PEDOT-Ionic Liquid Materials for the Design of Surfaces with Switchable Wettability"* M. Döbbelin, R. Tena-Zaera, **R. Marcilla**, J. Iturri, S. Moya, J.A. Pomposo, D. Mecerreyes, *Advanced Functional Materials* 19 (2009) 3326.
- [3] *"Light-emitting electrochemical cells using polymeric ionic liquid/polyfluorene blends as luminescent material"* **R. Marcilla***, D. Mecerreyes, G. Winroth, S. Brovelli, M.D.R. Yebra, F. Cacialli, *Applied Physics Letters* 96 (2010).
- [4] *"Innovative Materials and Applications based on Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) and Ionic Liquids"* M. Döbbelin, **R. Marcilla***, C. Pozo-Gonzalo, D. Mecerreyes, M. Döbbelin, *Journal of Materials Chemistry* 20 (2010) 7613.
- [5] *"Woven Electrochemical Transistors on Silk Fibres"* C. Muller, M. Hamed, R. Karlsson, R. Jansson, **R. Marcilla**, M. Hedhammar, O. Inganäs, C. Müller, O. Inganäs, *Advanced Materials* 23 (2011) 898.
- [6] *"Role of Textural Properties and Surface Functionalities of Selected Carbons on the Electrochemical Behaviour of Ionic Liquid based-Supercapacitors"* M.M. Jaramillo, A. Mendoza, S. Vaquero, M. Anderson, J. Palma, **R. Marcilla***, *RSC Advances* 2 (2012) 8439.
- [7] *"Mass-Balancing of Electrodes as a Strategy to Widen the Operating Voltage Window of Carbon/Carbon Supercapacitors in Neutral Aqueous Electrolytes"* S. Vaquero, J. Palma, M.A. Anderson, **R. Marcilla***, *International Journal of Electrochemical Science* 8 (2013) 10293.
- [8] *"Vanadium nitride@N-doped carbon nanocomposites: tuning of pore structure and particle size through salt templating and its influence on supercapacitance in ionic liquid"*

media" N. Fechler, G. Ayalneh Tiruye, **R. Marcilla***, M. Antonietti, RSC Advances, 4 (51) (2014) 26981-26989

[9] "All-Solid State Supercapacitors operating at 3.5 V by using Ionic Liquid based Polymer Electrolytes" G. A. Tiruye, D. Muñoz-Torrero, J. Palma, M. Anderson and **R. Marcilla**, *J. Power Sources*, 279 (2015) 472

[10] "Nanostructured Porous Wires of Iron Cobaltite: Novel Positive Electrode for High-Performance Hybrid Energy Storage Devices" A. Pendashteh, J. Palma, M. Anderson, **R. Marcilla**, *J. Mater. Chem. A*. Accepted for publication (2015)

C.2. Proyectos

Los proyectos con administraciones públicas más representativas se muestran en la siguiente tabla:

- 1) Referencia del proyecto: REF: RTC-2015-4471-3
Título: ALmacenamiento Innovador en aplicaciones Estacionarias, basado en Aluminio (ALIENA)
Investigador principal: Dr. Jesús Palma
Entidad financiadora: MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD
Duración: 01/10/2015-30/09/2018
Financiación recibida (en euros): 128.000 € a nuestro grupo
Estado del proyecto: concedido
- 2) Referencia del proyecto: ENE2012-31516
Título: DESARROLLO DE SUPERCONDENSADORES DE ALTAS PRESTACIONES MEDIANTE EL USO DE ELECTROLITOS BASADOS EN LIQUIDOS IONICOS
Investigador principal: Dr. Rebeca Marcilla
Entidad financiadora: MINECO
Duración: 01/01/2013-31/12/2015
Financiación recibida: 180.290 € a nuestro grupo
Estado del proyecto: concedido
- 3) Referencia del proyecto: Project number 289347
Título: TRAINING NETWORK IN INNOVATIVE POLYELECTROLYTES FOR ENERGY AND ENVIRONMENT (RENAISSANCE)
Investigador principal: David Mecerreyes
Entidad financiadora: EUROPEAN COMMISSION: FP7-PEOPLE-2011-ITN Duración: 01/05/2012-31/04/2016
Financiación recibida (en euros): 228.203 € a nuestro grupo
R. Marcilla es la investigadora principal en IMDEA Energy
Estado del proyecto: concedido
- 4) Referencia del proyecto: RYC-2011-08093
Título: APPLICATION OF IONIC LIQUID-BASED MATERIALS IN HIGH PERFORMANCE SUPERCAPACITORS
Investigador principal: Rebeca Marcilla
Entidad financiadora: MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN, RAMON y CAJAL Program
Duración: 01/01/2012-31/12/2016
Financiación recibida (en euros): 183.600 € a nuestro grupo
Estado del proyecto: concedido
- 5) Referencia del proyecto: Project number 214405
Título: NEW GENERATION, HIGH ENERGY AND POWER DENSITY SUPERCAPACITOR BASED ENERGY STORAGE SYSTEM (HESCAP)
Investigador principal: Dr. José Martín Echeverría
Entidad financiadora: EUROPEAN COMMISSION- FP7-ENERGY
Duración: 01/04/2010-30/09/2013
Financiación recibida (en euros): 400.000 € a nuestro grupo
Estado del proyecto: concedido

R. Marcilla es se encargaba de la coordinación de uno de los WPs.
Estado del proyecto: concedido

C.3. Contratos

- 1) Referencia del contrato: Contrato directo con empresa
Título: DESMAN - Development of new structural materials for energy harvesting and Storage
Investigador principal en IMDEA Energy: Dr. Rebeca Marcilla
Entidad financiadora: BE Aerospace (USA)
Duración: 01/08/2014-31/07/2017
Financiación recibida (en euros): 192.100,00 a nuestro grupo.
- 2) Referencia del contrato: Contrato directo con empresa
Título: *DESARROLLO DE UNA BATERÍA METAL-AIRE RECARGABLE*
Investigador principal: Dr. Jesús Palma
Entidad financiadora: *ALBUFERA ENERGY STORAGE* (España)
Duración: 01/01/2014-31/12/2016
Financiación recibida (en euros): 93.385 a nuestro grupo.
- 3) Referencia del contrato: Contrato directo con REPSOL
Título: BAtería de Flujo Orgánica para vehículos eléctricos de recarga ultrarrápida con surtidores convencionales (BAFO)
Entidad financiadora: *REPSOL a través del programa INSPIRE*
Investigador principal: Dr. Jesus Palma
Duración: 01/01/2015-31/12/2017
Financiación recibida (en euros): 400.000 a nuestro grupo.
Estado del proyecto: en negociación
- 4) Referencia del contrato: Contrato directo con la empresa *Adimlift S.A*
Título: *DESARROLLO DE SISTEMAS AVANZADOS DE ACCESO INTELIGENTE PARA EL CONTROL Y SEGURIDAD DE PERSONAL (SMARTLIFT-FOTOVOLTAICA)*
Investigador principal: Dr. Rebeca Marcilla
Entidad financiadora: *ETORGAI Program*
Duración: 01/09/2008-31/12/2010
Financiación recibida (en euros): 165.000 a nuestro grupo.

C.4. Patentes

- 1) INVENTORS (in order of authorship): Cristina Pozo-Gonzalo, Josetxo Pomposo, Hans Grande; Maitane Salsamendi, **Rebeca Marcilla**
TITLE: ELECTROCHROMIC COMPOSITIONS CONTAINING VIOLOGENS, WHICH CAN BE FORMULATED AND USED AT AMBIENT TEMPERATURE
APPLICATION FORM No: US20080865669 20081113
PRIORITY No: ES20080000258 20080131; WO2008ES00703 20081113
PRIORITY COUNTRY: Spain PRIORITY DATE: 31-01-2008
HOLDER ENTITY: CIDETEC
- 2) INVENTORS (in order of authorship): Juan Bisquert, Iván Mora-Sero, Vasko Jovanovski, **Rebeca Marcilla**, Ramón Tena-Zaera, David Mecerreyes, Germán Cabañero
TITLE: IONIC LIQUID BASED ELECTROLYTES CONTAINING SULFIDE/POLYSULFIDE REDOX COUPLE AND USES THEREOF
APPLICATION FORM No: WO2011EP58143 20110519
PRIORITY No: EP20100382132 20100520
PRIORITY COUNTRY: Spain PRIORITY DATE: 20-05-10
HOLDER ENTITY: CIDETEC and University Jaume I (Castellón)

C.5, C.6, C.7... Otros

- “Outstanding Young **Researcher Award** in “XIV International Symposium on Polymer Electrolytes” (ISPE-14)” given by the International Society of Electrochemistry (ISE) in Sep 2014.
- “**Award** for the best PhD thesis in polymer science” in 2005-2006 given by the Spanish Polymer Group (GEP-RSEQ) in 2006.
- 2 Book chapters
- 3 Estancias en centros de excelencia internacional: Technical University of Eindhoven (The Netherlands), University College London (UCL) and Deakin University (Melbourne, Australia)
- Más de 40 contribuciones a congresos, 10 de ellas con charla invitada.

Parte A. DATOS PERSONALES		Fecha del CVA		20/09/2016	
Nombre y apellidos	AFSHIN PENDASHTEH				
DNI/NIE/pasaporte			Edad	30	
Núm. identificación del investigador		Researcher ID			
		Código Orcid			

A.1. Situación profesional actual

Organismo	Imdea Energy Institute			
Dpto./Centro	Imdea Energy Institute			
Dirección	Avda. Ramón de la Sagra, 3, Móstoles			
Teléfono	(+34)638780585	correo electrónico	afshin.pendashteh@imdea.org	
Categoría profesional	Investigador Postdoctoral		Fecha inicio	2014
Espec. código UNESCO				
Palabras clave	Supercapacitors, electrochemical energy storage, electrochemistry			

A.2. Formación académica (título, institución, fecha)

Licenciatura/Grado/Doctorado	Universidad		Año
Licenciado en Ciencias División Químicas Sección Químicas	Damghan University		2007
Doctorado en Química analítica	Tarbiat Modares University		2013

A.3. Indicadores generales de calidad de la producción científica

Based on Scopus on 20 Sep 2016:

Author ID: 55508187900

Total citations: 174

h-index: 5

11 Documents, 21 Coauthors

Parte C. MÉRITOS MÁS RELEVANTES (ordenados por tipología)
C.1. Publicaciones

Las publicaciones más representativas se detallan a continuación (*corresponding author):

- 1 Scientific paper. Afshin Pendashteh; et al. 2016. NiCoMnO₄ nanoparticles on N-doped graphene: Highly efficient bifunctional electrocatalyst for oxygen reduction/evolution reactions. Applied Catalysis B: Environmental. Elsevier. 201, pp.241-252.
- 2 Scientific paper. Pejman Kakvand; et al. 2016. Synthesis of NiMnO₃/C nano-composite electrode materials for electrochemical capacitors. Nanotechnology. IOP Publishing. 27-31.
- 3 Scientific paper. A Pendashteh; et al. 2016. Facile synthesis of NiCoMnO₄ nanoparticles as novel electrode materials for high-performance asymmetric energy storage devices. RSC Advances. Royal Society of Chemistry. 6, pp.28970-28980.
- 4 Scientific paper. Pendashteh, A.; et al. 2015. Nanostructured porous wires of iron cobaltite: novel positive electrode for high-performance hybrid energy storage devices. Journal of Materials Chemistry A. Royal Society of Chemistry. 3, pp.16849-16859.

- 5 Scientific paper. Ghasem Darabizad; et al. 2015. Electrodeposition of morphology and size-tuned PbO₂ nanostructures in the presence of PVP and their electrochemical studies. *Materials Chemistry and Physics*. Elsevier. 156, pp.121-128.
- 6 Scientific paper. Afshin Pendashteh; et al. 2015. Highly Ordered Mesoporous CuCo₂O₄ Nanowires, a Promising Solution for High-Performance Supercapacitors. *Chemistry of Materials*. ACS. 27-11, pp.3919-3926.
- 7 Scientific paper. Abbas Abdolmaleki; et al. 2014. Facile electrostatic coprecipitation of f-SWCNT/Co₃O₄ nanocomposite as supercapacitor material. *Ionics*. Springer 10.1007/s11581-014-1.
- 8 Scientific paper. Afshin Pendashteh; Mohammad S. Rahmanifar; Mir. F. Mousavi. 2014. Morphologically controlled preparation of CuO nanostructures under ultrasound irradiation and their evaluation as pseudocapacitor materials. *Ultrasonics Sonochemistry*. Elsevier. 21, pp.643-652.
- 9 Scientific paper. Afshin Pendashteh; et al. 2014. Facile synthesis of nanostructured CuCo₂O₄ as a novel electrode material for high-rate supercapacitors. *Chemical Communications*. The Royal Society of Chemistry. 50, pp.1972-1975.
- 10 Scientific paper. Afshin Pendashteh; Mir F. Mousavi; Mohammad S. Rahmanifar. 2013. Fabrication of anchored copper oxide nanoparticles on graphene oxide nanosheets via an electrostatic coprecipitation and its application as supercapacitor. *Electrochimica Acta*. Elsevier. 88, pp.347-357.
- 11 Scientific paper. Afshin Pendashteh; et al. 2012. Synthesis of micro and nanostructured MnO₂ and their comparative study in lithium battery. *Journal of the Iranian Chemical Society*. Springer. 9, pp.389-395.

C.2. Proyectos

Los proyectos con administraciones públicas más representativas se muestran a continuación:

- 1 MAD2D-"Fundamental Properties and Applications of Graphene and other Bidimensional Materials ". Jesus Palma. (FUNDACIÓN IMDEA ENERGIA). 01/01/2015-01/10/2018. 58.644 €. Team member.
- 2 SUPERLION - Development of High Performance Supercapacitors Using Electrolytes Based on Ionic Liquids. Rebeca Marcilla. (FUNDACIÓN IMDEA ENERGIA). 01/01/2013-30/09/2016. 174.330 €. Team member.

ANEXO II: Cuestionario sobre implicaciones éticas

Indicar si la propuesta del plan de investigación contempla alguno/s de los siguientes aspectos:

A: Investigación con seres humanos o uso de datos personales.....	SI ☐ NO ☒
B: Utilización de muestras biológicas humanas o información genética.....	SI ☐ NO ☒
C: Experimentación animal.....	SI ☐ NO ☒
D: Utilización de agentes biológicos de riesgo para la salud humana, animal o para las plantas	SI ☐ NO ☒
E: Uso de organismos modificados genéticamente (OMGs).....	SI ☐ NO ☒

Si el trabajo se hace dentro de un Proyecto de Investigación más amplio que cuenta con la aprobación del Comité de Ética de la Investigación (CEI), especificar:

- Título del proyecto:
- Investigador Principal:
- Fecha de aprobación por el CEI-UAM¹:

Si el trabajo de investigación no se enmarca en un Proyecto ya aprobado, se ha de enviar una breve memoria que incluya las actividades a realizar, incluyendo la metodología y el material –en su caso– que se va a utilizar, junto con los formularios I y II que se encuentran en la página web del CEI de la UAM: <https://www.uam.es/otros/ceiuam/documentCEI.htm>

Aparte de la memoria y los formularios indicados, se adjuntará la siguiente documentación:

- En el **supuesto A**, si la investigación es prospectiva, se deberá aportar el documento de consentimiento informado que se utilizará, donde conste la información detallada que recibirá el participante en el estudio. Si la investigación es retrospectiva se deberá establecer un compromiso de confidencialidad sobre los posibles datos identificativos de los participantes. En cualquier caso, se detallará si los datos o el material obtenido serán anonimizados o codificados y cómo se custodiarán. También deberá indicarse el modo de reclutamiento de los participantes. Si se trata de experimentación clínica se debe adjuntar el informe del Comité de Ética del Centro en el que se llevará a cabo la experimentación, señalando la extensión de esta autorización (usos restringidos al proyecto, o para otros usos relacionados).
- En el **supuesto B** si la investigación es prospectiva, se deberá aportar el documento de consentimiento informado a utilizar donde conste la información detallada que recibirá el participante en el estudio. Si la investigación es retrospectiva deberá presentarse la autorización del uso de las muestras, que deberán tratarse de forma anónima, a menos que se justifique adecuadamente la necesidad del tratamiento de forma no anónima, en cuyo caso se necesitará consentimiento informado y documento de confidencialidad.
- En el **supuesto C** se deberá adjuntar el Informe del Órgano Encargado del Bienestar de los Animales (OEBA) y, en su caso, del Órgano Habilitado.
- En el **supuesto D** se debe adjuntar el informe del Comité de Bioseguridad o del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales del Centro en el que se llevará a cabo la experimentación. Asimismo, se deberán enumerar los agentes biológicos a utilizar y describir las medidas de contención del laboratorio donde se van a realizar los trabajos.
- En el **supuesto E** se debe adjuntar el informe del Comité de Bioseguridad o del Servicio de Prevención de Riesgos Laborales del Centro en el que se llevará a cabo la experimentación. Se debe declarar la categoría de riesgo de los OMGs empleados y su procedencia, así como los organismos receptores y donantes empleados y los vectores utilizados.

¹ O, en su caso, el CEI de otra Institución colaboradora con el Programa de Doctorado, que tendrá que especificarse y adjuntarse.

Datos necesarios para la tramitación por el CEI:

- Doctorando: Jaime Sánchez Sánchez
- Director: Rebeca Marcilla y Afshin Pendashteh
- Tutor (si el Director es externo): Pilar Ocón Esteban
- Departamento: Unidad de Procesos Electroquímicos
- Centro: Imdea Energía
- Teléfono:
- Correo electrónico: jaime.sanchez@imdea.org

Firma Doctorando

Jaime Sánchez Sánchez

Vº Bº Director

Rebeca Marcilla

Afshin Pendashteh

Vº Bº Tutor

Pilar Ocón

Fecha: 26/09/2016