

Plan de Investigación (PI)

Título: Desarrollo de baterías recargables basadas en Aluminio

Doctorando: David Muñoz-Torrero
david.munoztorrero@imdea.org

Tutor: Pilar Ocón

Director: Rebeca Marcilla /Instituto IMDEA Energía
rebeca.marcilla@imdea.org

Director: Jesús Palma /Instituto IMDEA Energía
jesús.palma@imdea.org

Matrícula: 02/2016

Fecha: 21/06/2016

1 . Antecedentes y estado actual del tema

1.1. Contexto en que se desarrolla este trabajo.

Durante el último siglo el consumo de energía a escala mundial se ha multiplicado por quince, esto sumado al fuerte desarrollo de países emergentes como China, India o Brasil, hace que las previsiones de energía demandada para los próximos años sean aún mayores. El principal problema de esta creciente demanda y producción es que la mayoría de la energía proviene de combustibles fósiles, ya sea para la generación de energía eléctrica o para transporte [1]. El último informe desarrollado por BP (*BP Statistical Review 2015*) sitúa en un 82% el consumo de energía mundial proveniente de combustibles fósiles, en España, la tendencia es similar (72%) [2]. Esto, además de generar dependencias y conflictos económicos y políticos entre países genera problemas medioambientales.

Por ello entre, las posibles alternativas a los combustibles fósiles destacan las energías renovables, que extraen la energía de fuentes que son virtualmente inagotables y cuya regeneración es continua y se produce de manera natural. La producción de energía mediante energías renovables se ha desarrollado y crecido fuertemente en los últimos años. Según el informe Renewables 2016. Global Status Report (GSR 2016) las energías renovables suponen el 77% de la nueva potencia instalada en Europa. Esto ha hecho que los costes de producción se reduzcan y se abran nuevas oportunidades para este tipo de energía [3]. Sin embargo, uno de los principales problemas es que las fuentes de energía renovable producen energía de forma intermitente y están sometidas a fluctuaciones debido a la disponibilidad del sol o viento en el caso de la energía fotovoltaica o eólica. Esto hace que exista una falta de correspondencia entre la producción y la demanda de energía disponible. Para poder flexibilizar y equiparar la producción a la demanda de energía es necesario disponer de dispositivos de almacenamiento de energía. Así, por ejemplo, los excedentes de energía producidos durante el día como en el caso de la energía fotovoltaica puedan ser consumidos por la noche, cuando la demanda de energía, en particular en los hogares, se intensifica.

La aplicación de tecnologías de almacenamiento a plantas generadoras cuenta con varios beneficios, entre ellos destaca la posibilidad de suavizar la dependencia de la producción de la energía respecto al consumo, esto hace que no sea necesaria la precisa predicción de los picos de demanda. Por otro lado, el coste de la instalación resulta menor, ya que la potencia instalada necesaria deberá responder a la energía media utilizada en lugar de a los picos de demanda [4].

Las tecnologías para el almacenamiento de energía se pueden dividir en cuatro grandes grupos:

- 1) Sistemas de almacenamiento de energía mecánica:** como los volantes de inercia (energía cinética), compresión de aire (utilizan la energía que genera la expansión de un gas) o central de bombeo hidroeléctrico (aprovechando la energía potencial del salto de una masa de agua).
- 2) Sistemas de almacenamiento de energía térmica:** estos dispositivos aprovechan el calor sensible o calor latente de un material o el calor almacenado en una reacción química reversible.
- 3) Sistemas de almacenamiento de energía electromagnética:** como el caso de bobinas superconductoras que almacenan energía en el campo magnético creado por un inductor.
- 4) Sistemas de almacenamiento de energía electroquímica:** como son los supercondensadores y las baterías. Los supercondensadores almacenan energía en la formación de la doble capa eléctrica en la interfase electrodo-electrolito cuando se somete al dispositivo a un campo eléctrico. En cambio, una batería es un dispositivo electroquímico capaz de convertir la energía liberada por una reacción electroquímica en energía eléctrica.

1.2. Baterías: definición y clasificación

Como se ha definido anteriormente, una batería es un dispositivo que produce energía eléctrica mediante una reacción de reducción-oxidación. Este dispositivo está constituido por [5]:

- **Ánodo o electrodo negativo:** material que se oxida cediendo electrones al circuito eléctrico durante la descarga.
- **Cátodo o electrodo positivo:** material que se reduce aceptando electrones del circuito eléctrico durante la descarga.
- **Electrolito:** asegura el transporte de carga, como iones, entre el cátodo y el ánodo para mantener el balance de cargas en los electrodos.

A modo de clasificación general, las baterías pueden ser primarias o secundarias. Las **baterías primarias** son aquellas que una vez cedida la energía que acumulan no pueden ser recargadas eléctricamente. Este tipo de baterías se crearon hace cerca de doscientos años con la pila de Volta o Daniell (1800 y 1836 respectivamente), pero no fue hasta los años cuarenta cuando su uso se extendió. Entre las ventajas de las baterías destacan su fácil uso, su adaptabilidad a dispositivos portátiles tanto en tamaño como en forma así como su escaso mantenimiento. Diferentes tecnologías se han desarrollado como las baterías basadas en Zinc-carbón de bajo coste y bajas prestaciones. Más adelante se introdujo la *pila alcalina* (Zn/alcalina/MnO₂), otros diseños como las de zinc y cadmio con óxido de mercurio (Zn/HgO y Cd/HgO) y con óxido de plata (Zn/Ag₂O) que cayeron en desuso por su peligrosidad y las de magnesio (Mg/MnO₂) que han sido usadas en aplicaciones militares. Se ha explorado la posibilidad de usar el **litio** como ánodo debido a sus buenas propiedades electroquímicas. Estas baterías primarias pueden ser clasificadas en función de los materiales usados como cátodos (monofluoruro de carbón, cloruro de tionilo, yodo, óxido de cobre o bisulfuro de hierro) o en función del electrolito (tanto líquidos orgánicos como sólidos poliméricos orgánicos así como sales fundidas). Pueden suministrar voltajes de entre 1,5 y 3 V. Diferentes diseños se han desarrollado y han sido extendidos para algunas aplicaciones. Otro metal de interés para las baterías primarias ha sido el **zinc** metálico con cátodo de aire, que ha sido desarrollado y existen diferentes modelos disponibles en el mercado. Otra opción que se está investigando es la utilización del **aluminio** como ánodo debido a su bajo coste, su seguridad y sus buenas propiedades como alta densidad de energía teórica, sin embargo, su corrosión y polarización con electrolitos acuoso ha hecho que su uso comercial no se haya extendido.

Las **baterías secundarias**, en cambio, son aquellas que pueden ser recargadas eléctricamente tras ser usadas, esto hace que su vida útil sea más larga y posibilita su aplicación en móviles, coches, ordenadores portátiles o aplicaciones estacionarias. Las principales tecnologías de baterías secundarias son las siguientes:

- **Baterías de Plomo-Ácido:** compuestas por plomo como ánodo, óxido de plomo como cátodo y disolución acuosa ácida (H_2SO_4) como electrolito. Este tipo de baterías poseen una carga y descarga con buena reversibilidad y buena ciclabilidad (500-800 ciclos) sin sufrir deterioro para un amplio rango de temperaturas. Aunque su densidad de energía (50 Whkg^{-1}) y potencia (180 Wkg^{-1}) son bajas, son ampliamente utilizadas en el motor de arranque de automóviles debido a su bajo coste de fabricación.
- **Baterías de Níquel-Cadmio:** como la compuesta por Níquel (oxihidróxido de níquel, cátodo) y Cadmio (ánodo), una de las baterías con una larga vida útil (1500 ciclos), energía (71 Whkg^{-1}) y bajo mantenimiento; pero que debido a su toxicidad fue prohibido su uso para casi todas sus aplicaciones por la Unión Europea en 2004 y han sido sustituidas por baterías de Níquel-hidruro metálico.
- **Baterías Níquel-Hidruro metálico (Ni-HM):** este tipo de baterías están formadas por un cátodo de oxihidróxido de níquel y una aleación de hidruro metálico como ánodo. De este modo se consigue eliminar el cadmio que tiene un alto coste y es tóxico. Estas baterías presentan el doble de capacidad de carga y menor efecto memoria que las de Ni-Cd. Entre sus características destacan su capacidad de suministrar un voltaje de 1,2V con una densidad de energía de 100 Wh kg^{-1} y una ciclabilidad de aproximadamente 1000 ciclos. Este tipo de baterías son usadas en automoción (vehículos de propulsión eléctrica) y en electrónica de consumo como por ejemplo teléfonos inalámbricos.
- **Baterías de Metal-ion:** baterías que utilizan un metal como ánodo y un cátodo que permita la inserción y desinserción de iones. Se han investigado tanto tecnologías que usan sodio como ánodo (Na-ion), que continua en fase experimental, así como tecnologías basadas en litio (Li-ion). Este último tipo de baterías se introdujeron en el mercado en los años noventa y se han convertido en una tecnología de alta importancia en el mercado de ordenadores portátiles, telefonía móvil y otros dispositivos; además de ser uno de los temas más investigados actualmente en electroquímica. Esto se debe a sus altas prestaciones en energía (120 Wh kg^{-1}), su alta ciclabilidad (1200) conservando una alta eficiencia en descarga (>90%). Las baterías de Li-ion son las más extendidas en el mercado en la actualidad, pero tanto para aplicaciones estacionarias como para el vehículo eléctrico no han sido utilizadas masivamente debido a que es necesario aumentar la energía específica y disminuir su coste de producción. Debido a ello, los esfuerzos científicos se están centrado en dos líneas de investigación principalmente: por un lado, en la mejora de las prestaciones actuales de baterías basadas en la tecnología Li-ion [6-8] y por otro lado y en los últimos años, en el desarrollo de un grupo de batería denominadas baterías metal-aire.
- **Baterías Metal-aire:** en este tipo de baterías, la energía se obtiene mediante una reacción redox entre el metal y el aire, y su principal ventaja es su alta densidad de energía teórica, mucho mayor que otras tecnologías de baterías [9-10]. No obstante, el estado de desarrollo de esta tecnología está aún en fases de investigación y hay numerosos aspectos que han de ser resueltos antes de su comercialización.

Tanto en las baterías basadas en la tecnología metal-ion como en la tecnología metal-aire, el interés científico se ha centrado en el uso del litio como ánodo metálico [11]. Esto se debe a que el litio es el metal que mayor capacidad teórica y que mayor energía específica teórica en baterías metal-aire puede suministrar, cercana a la del combustible fósil más utilizado en automoción, la gasolina (Figura 1) [10]. Sin embargo, los valores prácticos de energía de las baterías de litio son mucho menores frente a los teóricos, como se puede observar en la Figura 1. Además, el litio metálico es explosivo bajo condiciones de humedad y oxígeno no controladas, estas reacciones producen hidróxido de litio un compuesto altamente corrosivo y perjudicial especialmente para los organismos acuáticos. Además, el litio es un material escaso en comparación con otros

metales como el zinc o el aluminio y esto, junto con la existencia de yacimientos en pocas zonas geográficas hace que la comercialización mundial del litio se vea frenada y su precio sea controlado por los países que poseen dichos yacimientos.

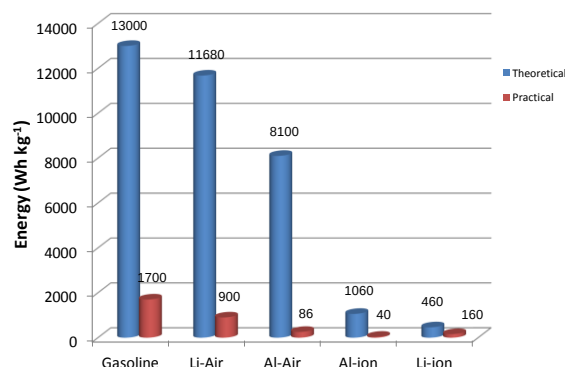


Figura 1. Energía teórica y práctica de la gasolina y de las baterías basadas en litio y aluminio.

1.3. Tecnologías de baterías basadas en aluminio. Baterías Aluminio-Aire y Aluminio-ion

Tras el Litio, el metal que tiene las mejores características para su uso en baterías es el aluminio. Como se puede observar en la Tabla 1 su uso como ánodo presenta la segunda energía teórica más alta ($8,1 \text{ kWh kg}^{-1}$) para baterías metal-aire tras el Litio. Además, su densidad de energía gravimétrica es comparable con la del litio ($2,98 \text{ Ah g}^{-1}$ frente a $3,86 \text{ Ah g}^{-1}$) y densidad de energía volumétrica ($8,04 \text{ Ah cm}^{-3}$) es cuatro veces mayor que la del litio ($2,06 \text{ Ah cm}^{-3}$). Es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre (8,1%) tras el oxígeno (46,6%) y el silicio (27,7%). Debido a su abundancia y a la extensa explotación de yacimientos de bauxita (hidróxido de aluminio) para la producción de aluminio su comercialización está extendida y su coste es bajo en comparación con otros metales [12], su precio es treinta veces menor al del litio. Es un excelente material conductor tanto térmica como eléctricamente. Su uso no conlleva problemas medioambientales y es fácilmente reutilizable. Por ello existe un gran interés científico y empresarial en desarrollar baterías basadas en aluminio.

Tabla 1. Características de metales para su uso en baterías.

Metal	Equivalente electroquímico del metal (Ah g^{-1})	Electrones intercambiados	Energía específica teórica del metal (kWh kg^{-1})
Litio (Li)	3,86	1	13,0
Calcio (Ca)	1,34	2	4,6
Magnesio (Mg)	2,20	2	6,8
Aluminio (Al)	2,98	3	8,1
Zinc (Zn)	0,82	2	1,3
Hierro (Fe)	0,96	2	1,2

Existen principalmente dos tecnologías que se están investigando basadas en aluminio, las baterías aluminio-aire y las baterías aluminio-ion. Las **baterías Aluminio-Aire (Al-Aire)** están formadas por aluminio metal como ánodo y oxígeno proveniente del aire como cátodo. Este tipo de baterías se ha investigado ampliamente en medio alcalino desde los años 60. El ánodo de este tipo de baterías es capaz de entregar una potencia teórica de -2.35 V . Sin embargo, debido a que la creación espontánea de una capa de óxido de aluminio (alúmina) y reacciones parasitarias como la evolución de hidrógeno (ec. 1) el potencial real es mucho menor.



Por otro lado están las baterías **Aluminio-ion (Al-ion)** cuyo su funcionamiento, en teoría, es similar a la tecnología litio-ion. Están compuestas por un ánodo, en este caso aluminio metálico y un cátodo que permita la inserción y de-inserción de iones que contengan aluminio en su estructura.

Existe un gran interés en desarrollar baterías secundarias basadas en aluminio debido a los valores de energía teórica que estas dos tecnologías presentan (Figura 1). Pero para el desarrollo de estas tecnologías se ha de superar uno de los retos científicos más importantes que es la obtención de un electrolito que posibilite la electrodeposición y electrooxidación del aluminio metal. Debido a la ineficacia de los electrolitos acuosos para llevar a cabo la reacción $\text{Al}^{3+}/\text{Al}^0$ de manera reversible se ha explorado la posibilidad del uso de líquidos iónicos como medio electrolítico. Los líquidos iónicos son sales formadas por un catión y un anión que generalmente, son líquidos a temperatura ambiente, con baja presión de vaporización, alta conductividad iónica y amplia ventana de estabilidad electroquímica. Entre ellos destacan los líquidos iónicos de primera generación formados por combinación del cloruro de aluminio y cloruro de 1-etil-3-metilimidazolio como los más prometedores para llevar a cabo la electrodeposición reversible de aluminio [13-14]. De hecho, este tipo de líquidos iónicos se han usado recientemente en los primeros artículos científicos en los que se investigan las baterías de aluminio reversibles [15-17]. Pese a ello, estos líquidos iónicos tienen limitaciones como su baja estabilidad en condiciones ambientales.

Además del ánodo de aluminio, otro elemento esencial de las baterías es el cátodo. En el caso de Al-ion los materiales de cátodo que se han de utilizar son aquellos que permitan alojar en su estructura iones de aluminio contenidos en el líquido iónico; algunos materiales grafiticos o polímeros conductores han sido utilizados en los primeros ejemplos [16-17]. En cuanto al cátodo de las baterías de Al-aire, el cátodo debe contener catalizadores para favorecer las reacciones de reducción (ORR) y evolución de oxígeno (OER) que tienen lugar en el mismo. Estas reacciones son lentas, con altos sobrepotenciales y pocos materiales son capaces de llevar a cabo la reacción de reducción de oxígeno y la reacción de evolución de oxígeno de manera eficaz [10]. Catalizadores basados en metales preciosos como el platino o en óxidos metálicos soportados sobre carbones de alta porosidad y alta conductividad eléctrica, han sido investigados como posibles cátodos. Sin embargo, mayoritariamente en electrolitos acuosos y para su uso en pilas de combustible o en tecnologías metal-aire pero que utilizan litio o zinc como ánodo metálico [18-20]. Poco o nada se ha avanzado en el desarrollo de cátodos para baterías Al-Aire.

La investigación fundamental sobre este tipo de tecnologías es necesaria para poder desarrollar materiales adecuados que mejoren las prestaciones prácticas conseguidas actualmente, ya que los escasos ejemplos que se encuentran en la estado del arte tienen una diferencia muy amplia entre los valores de energía teóricos y prácticos (Figura 1).

1.4. Objetivo general y novedad del proyecto

Debido a las ventajas expuestas anteriormente y a las prometedoras prestaciones que este tipo de baterías pueden tener, el **objetivo general** de esta tesis es el **Desarrollo de baterías recargables de altas prestaciones basadas en aluminio**.

La **novedad** que de la investigación que aquí se propone se basa en el estudio desde la electroquímica fundamental de cada uno de los componentes que conforman la batería con la finalidad de conseguir una batería o prototipo a escala laboratorio reversible y que tenga prestaciones que se acerquen más a las teóricas. Hasta hoy, sólo hay ejemplos que muestran la validez de estas tecnologías pero no existen estudios que vayan encaminados al desarrollo de materiales que disminuyan las limitaciones de las mismas, tales como pueden ser el desarrollo de nuevos electrolitos mejorados respecto a los actuales utilizados o el desarrollo de electrodos con prestaciones electroquímicas mejoradas, respecto a los empleados en los primeros ejemplos de baterías basadas en aluminio, mediante el estudio de la composición y geometría adecuadas.

La **hipótesis** de partida de esta tesis doctoral es la siguiente: el desarrollo de electrolitos distintos del agua en los que llevar a cabo la oxidación-reducción del aluminio de manera reversible abre la puerta al desarrollo de baterías secundarias basadas en aluminio. Éstas pueden representar una alternativa real frente a las actuales tecnologías comerciales basadas en litio o plomo debido a su alta densidad de energía teórica, su bajo coste y su respetuosidad con el medio ambiente.

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 en proyectos cuyas actividades fundamentales son aplicables a los retos que engloba esta tesis doctoral:

- Síntesis de líquidos iónicos y líquidos iónicos poliméricos para su aplicación en dispositivos de almacenamiento de energía.
- Síntesis de óxidos metálicos, desarrollo de carbones con prestaciones mejoradas respecto a los comerciales y síntesis de materiales avanzados como óxidos de grafeno para su uso en dispositivos electroquímicos.
- Fabricación de electrodos, montaje y caracterización de dispositivos electroquímicos a escala laboratorio.

En los últimos 5 años el grupo ha publicado más de 50 artículos científicos, 2 capítulos de libros, y tres patentes en temáticas relacionadas con el almacenamiento electroquímico de la energía. Como fruto de esta experiencia, la UPE está trabajando actualmente en dos proyectos de investigación con participación directa de dos empresas españolas en el desarrollo de baterías de metal-aire:

- CEGASA Portable Energy: Mejora de las prestaciones de baterías comerciales Zinc- aire mediante la modificación de los catalizadores.
- ALBUFERA Energy Storage: Desarrollo de baterías Aluminio-aire reversibles.

2 . Objetivos y planteamiento

Los objetivos específicos que persigue la tesis doctoral son los siguientes:

- 1. Desarrollo de electrolitos** que permitan la electrodeposición reversible del aluminio, incluyendo líquidos iónicos, **y optimización de reacción de electrodeposición** mediante: ajustes en la composición del electrolito y estudio de las propiedades de los materiales utilizados como ánodo. Diferentes disolventes, sales y aditivos serán estudiados para la optimización del electrolito y diferentes composiciones y geometrías serán investigadas para la determinación del material que compondrá el ánodo.
- 2. Investigación de cátodos** que contengan catalizadores que puedan llevar a cabo la ORR/OER para uso potencial en baterías Al-Aire , además de investigar materiales de cátodo que puedan llevar a cabo reacciones de intercalación para su uso en baterías Al-ion.
- 3. Diseñar y construir prototipos** a escala de laboratorio para baterías basadas en aluminio cuyo voltaje sea 1,5V, su energía 300Wh kg⁻¹, con una ciclabilidad de 200 ciclos y un 65-85% de eficiencia.

Para la consecución de cada uno de los objetivos específicos descritos se ha definido una metodología mediante la realización de distintas tareas que serán descritas en el siguiente apartado.

Basados en los objetivos específicos y en el objetivo general se plantean los siguientes hitos a conseguir:

- Hito 1.** Definición de la composición de los electrolitos y de las propiedades y características de las materiales que se utilizarán como ánodos.
- Hito 2.** Definición de la composición y propiedades electroquímicas de electrodos para su uso como cátodos en baterías

Hito 3. Construcción de una celda elemental mediante selección de los materiales adecuados y que responda a las especificaciones señaladas en el objetivo 3.

3 . Metodología y plan de trabajo

3.1. Definición de las tareas a realizar.

Cada una de las tareas a realizar durante la tesis doctoral está en relación a los objetivos específicos a conseguir. La secuencialidad de las tareas a realizar en función de los objetivos se puede encontrar en la Tabla XX. La lista de tareas es la siguiente:

Objetivo 1. Desarrollo de electrolitos que permitan la electrodeposición reversible del aluminio.

Tarea 1.1. Selección y síntesis de los electrolitos seleccionados. Serán objeto de este estudio líquidos iónicos y electrolitos orgánicos con aditivos adecuados que serán caracterizados fisicoquímicamente y electroquímicamente para determinar su estabilidad y conductividad iónica.

Tarea 1.2. Demostrar la reversibilidad de la electrodeposición sobre sustratos de distinta composición (metales y no metales) y geometrías (materiales 2D y 3D). Para ello se diseñará una semicelda electroquímica estandarizada y se realizarán voltametrías cíclicas (CV).

Tarea 1.3. Evaluar la morfología y composición de electrodeósitos de aluminio mediante microscopia electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X (XRD).

Tarea 1.4. Evaluación de la eficiencia de la reacción $\text{Al}^{3+}/\text{Al}^0$, los potenciales de reacción y la ciclabilidad para los materiales y electrolitos seleccionados mediante pruebas de carga-descarga galvanostática para corrientes y tiempos determinados.

Objetivo 2. Investigación de cátodos

Tarea 2.1. Definir las características que debe tener un cátodo de inserción de iones y un cátodo de aire así como describir materiales que puedan ser investigados.

Tarea 2.2. Síntesis y/o caracterización físico-química de los materiales seleccionados mediante análisis textural por fisisorción de nitrógeno para determinación del área superficial (BET) y distribución de tamaño de poro. Se realizarán caracterización microestructural mediante SEM combinado con análisis elemental mediante rayos X (EDX). Se definirá su estructura cristalográfica mediante XRD y espectroscopia fotoelectrónica de rayos X (XPS).

Tarea 2.3. Caracterización electroquímica en celdas de tres electrodos mediante voltametría cíclica (CV), escalones de corriente para evaluar la eficiencia de la reacción, los potenciales de reacción y la ciclabilidad de la semireacción.

Objetivo 3. Diseñar y construir prototipos

Tarea 3.1. Selección de componentes y montaje de prototipos. Para ello se disponen de técnicas de preparación de electrodos como doctor blade, así como de celdas tipo swagelok y un sistema de montaje de celdas de tipo botón modificadas para permitir la entrada de aire. También se prevé la utilización de algún tipo de membrana que impida la fuga de electrolito líquido fuera de la celda.

Tarea 3.2. Caracterización electroquímica de dichos prototipos mediante espectroscopía de impedancia electroquímica EIS y carga-descarga galvanostática a diferentes corrientes. Determinación de los parámetros de la batería: potencial a circuito abierto, polarización en carga y descarga, capacidad, energía específica, eficiencia y ciclabilidad.

3.2. Impacto previsto

El **resultado previsto** de esta tesis doctoral es sentar las bases para el futuro desarrollo de una tecnología para el almacenamiento de energía basada en aluminio que sea limpia, de menor coste y mejores características que las baterías disponibles actualmente.

Cada día existen más dispositivos portátiles que necesitan de baterías recargables cuyas capacidades sean mejores y la **aplicación** de baterías basadas en aluminio puede jugar un papel clave. Este tipo de dispositivos podrían ser usados también en coches eléctricos ya que necesitan de sistemas estables, de bajo coste y bajo mantenimiento con unos requerimientos de energía altos. Por último, este tipo de baterías podrían dar servicio a aplicaciones estacionarias en centrales producción de energía, esto se puede ver aún más favorecido si se produce una descentralización de la producción de energía y un fomento del autoconsumo.

Es importante señalar que esta tesis doctoral está financiada por un proyecto recientemente concedido por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) a través de la convocatoria “Retos colaboración 2015”. En él participa un consorcio formado por dos centros de investigación y tres empresas que desarrollan gran parte de su actividad en la generación de conocimiento científico (I+D+i) de cara a mejorar sus procesos productivos. Además de la **capacidad innovadora científica** del grupo de IMDEA Energía, es clave destacar que las tres empresas participantes desarrollan su actividad en la comercialización de materiales y tecnología en temas relacionados con las energías limpias. En concreto, Albufera Energy Storage S.L., coordinador del proyecto, ha apostado por el desarrollo de tecnologías de almacenamiento de energía y está impulsando en gran medida la creación de tecnologías basadas en aluminio para poder introducir las en el mercado, asegurando así la **capacidad tecnológica** del proyecto. El impacto del proyecto en el desarrollo de tecnologías de almacenamiento acoplado a energías renovables viene avalado por la participación en el proyecto de GFM, empresa instaladora de módulos fotovoltaicos, cuyo objetivo es incluir en su portfolio un sistema integrado de producción y almacenamiento de energía por medio de paneles fotovoltaicos conectados a baterías de aluminio.

La Unidad de Procesos Electroquímicos de la Fundación IMDEA Energía, lugar donde se realizarán las actividades de investigación de esta tesis, cuenta con instalaciones perfectamente equipadas para la síntesis y preparación de materiales como reactores de deposición química en fase vapor, molino de bolas, prensas o rodillos laminadores. 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 raman y para el análisis termogravimétrico. Para el tratamiento y empleo de materiales extrapuros o cuyas características de uso precisan una atmósfera inerte el laboratorio cuenta con una caja de guantes Braun con atmósfera de argón y humedad controlada. Para el diseño y fabricación de celdas o prototipos se dispone de impresora 3D, crimpadora de pilas botón o celdas swagelok. También están a disposición varios potenciostatos tanto multicanal como monocanal portátiles para poder llevar a cabo la caracterización electroquímica.

A partir de la capacidad de desarrollo de conocimiento científico con la que cuenta este centro se espera que se lleve a cabo una promoción de este conocimiento mediante publicación de artículos en revistas de alto impacto, como se llevan haciendo durante estos años, así como la participación en congresos internacionales mediante comunicaciones orales. Además, se pretende dar apoyo técnico y realizar labores de transferencia de tecnología al resto de socios del proyecto.

3.3. Plan de financiación y movilidad

La financiación de esta tesis viene dada por el Ministerio de Economía y Competitividad/Retos Colaboración 2015 al proyecto de investigación con número de expediente **RTC-2015-4471-3** correspondientes a la convocatoria Retos-Colaboración del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016 del Ministerio de Economía y Competitividad. Este proyecto va a financiar tres años de contrato predoctoral durante los cuales periodo se prevé que se completará la tesis doctoral. 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 2. Diagrama de Gantt de la tesis doctoral.

AÑO	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																																																
Tarea 2.3																																																
Objetivo 3																																																
Tarea 3.1																																																
Tarea 3.2																																																

4 . Bibliografía inicial

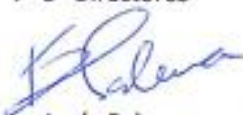
- [1] R. Loulou, J. Waaub and G. Zaccour, Energy and Environment. Ed Springer, 2005 .
- [2] B. P. S. Review and W. E. June, "BP Statistical Review of World Energy," no. June, 2015.
- [3] O. Ellabban, H. Abu-rub, and F. Blaabjerg. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 39, pp. 748–764, 2014.
- [4] S. Sabihuddin, A. E. Kiprakis, and M. Mueller. *Energies*, vol 8 no. 1, pp. 172–216, 2015.
- [5] D. Linden and T. B. Reddy, Handbook of batteries. Ed Mc Graw-Hill, 2002.
- [6] R. M. Humana, M. G. Ortiz, J. E. Thomas, S. G. Real, and M. Sedlarikova, *J. Solid State Electrochem*, Vol 20 no. 4, pp.1053-1058, 2016.
- [7] Y. Cai and C. Fan. *Electrochim. Acta*, vol. 58, pp. 481–487, 2011.
- [8] E. N. Kudryavtsev, R. V Sibiryakov, D. V Agafonov, V. N. Naraev, and A. V Bobyl. *Russ. J. Appl. Chem.* vol. 85, no. 6, 2012.
- [9] J.-S. Lee, S. Tai Kim, R. Cao, N. Choi, M. Liu, K. T. Lee, and J. Cho. *Adv. Energy Mater.*, vol. 1, no. 1, pp. 34–50, 2011.
- [10] S. Cheng. *Chem Soc Rev.* vol 41, pp 2519-2520, 2012.
- [11] G. Girishkumar, B. McCloskey, a. C. Luntz, S. Swanson, and W. Wilcke. *J. Phys. Chem. Lett.*, vol. 1, no. 14, pp. 2193–2203, 2010.
- [12] Q. Li and N. J. Bjerrum. *J. Power Sources*, vol. 110, no 1 , pp. 1–10, 2002.
- [13] T. Jiang, M. J. C. Brym, G. Dubé, A. Lasia, and G. M. Brisard. *Surf. Coat. Technol* vol. 201, pp. 1–9, 2006.
- [14] L. Zhang, E. Wang, J. Mu, X. Yu, Q. Wang, L. Yang, and Z. Zhao. *J. Nanosci Nanotechnol* vol. 14, no. 8, 2014.
- [15] R. Revel, T. Audichon, and S. Gonzalez. *J. Power Sources*, vol. 272, pp. 415–421, 2014.
- [16] M.-C. Lin, M. Gong, B. Lu, Y. Wu, D.-Y. Wang, M. Guan, M. Angell, C. Chen, J. Yang, B.-J. Hwang, and H. Dai." *Nature*, vol. 520, no. 7547, p. Pages: 324–328, 2015.
- [17] N. S. Hudak. *J. Phys. Chem. C*, vol. 118, no. 10, pp. 5203–5215, 2014.
- [18] M. S. Burke, L. J. Enman, A. S. Batchellor, S. Zou, and S. W. Boettcher. *Chem Mater*, vol 27 no 22 pp 7549-7558, 2015.
- [19] Y. Sun, Y. Hsieh, L. Chang, P. Wu, and J. Lee." *J. Power Sources*, vol. 277, pp. 116–123, 2015.
- [20] Y. Hu, X. Han, Q. Zhao, J. Du, F. Cheng, and J. Chen. *J. Mater. Chem. A Mater. energy Sustain.*, vol. 3, pp. 3320–3324, 2015.

Firma Doctorando



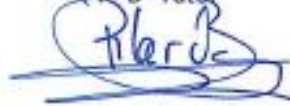
David Muñoz-Torrero

Vº Bº Directores



Jesús Palma

Vº Bº Tutor



Pilar Ocón



Rebeca Marcilla

ANEXO I : *Curriculum vitae* de los directores de tesis.

Parte A. DATOS PERSONALES		Fecha del CVA	15/06/2016
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. Fechner, 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 *Adimliff 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	15/06/2015
----------------------	------------

Nombre y apellidos	Jesús Palma del Val		
DNI/NIE/pasaporte	02855892M	Edad	52
Núm. identificación del investigador	Researcher ID	G-6914-2015	
	Código Orcid	0000-0003-1022-0165	

A.1. Situación profesional actual

Organismo	Fundación IMDEA Energía		
Dpto./Centro	Unidad de Procesos Electroquímicos		
Dirección	Avda. Ramón de la Sagra 3. Parque Tecnológico de Móstoles. 28935 Móstoles (Madrid)		
Teléfono	917371116	correo electrónico	jesus.palma@imdea.org
Categoría profesional	Investigador Sénior	Fecha inicio	11/04/2008
Espec. cód. UNESCO	330309; 330418		
Palabras clave	Electroquímica; Eficiencia y ahorro energético; Almacenamiento de energía		

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

Licenciatura/Grado/Doctorado	Universidad	Año
Doctor Ciencias Químicas	Universidad Autónoma de Madrid	1994
Licenciado Ciencias Químicas	Universidad Autónoma de Madrid	1986

A.3. Indicadores generales de calidad de la producción científica (véanse instrucciones)

Número de tesis doctorales dirigidas en los últimos 10 años:	2
Citas totales:	420
Promedio de citas por artículo:	16.15
Número de publicaciones con índice de impacto:	30
Número de publicaciones en el primer cuartil (Q1):	22
Índice h:	9

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

Jesús Palma es Investigador Sénior de la Unidad de Procesos Electroquímicos desde abril de 2008. Desde 2012 también ejerce como profesor asociado a tiempo parcial en la Escuela de Ciencias Experimentales y Tecnología de la Universidad Rey Juan Carlos. Es Licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de Madrid con la especialidad de Electroquímica (1986), Doctor en Ciencias Químicas por la misma universidad (1994) y Executive MBA por el Instituto de Empresa de Madrid (2001). De 1988 a 1991 realizó su tesis doctoral en el Instituto de Cerámica y Vidrio del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Entre 1992 y 2008 trabajó en el Centro de I+D de Técnicas Reunidas S.A., desempeñando diversos cargos desde Ingeniero de Procesos, hasta Director del Centro de I+D. Sus campos de actividad principales son la electroquímica aplicada y la ingeniería electroquímica. Entre sus líneas de investigación destacan el almacenamiento de energía en condensadores y baterías, la generación de energía con pilas de combustible, la síntesis y destrucción electroquímica de compuestos orgánicos e inorgánicos, y el tratamiento de residuos y efluentes industriales. Se ha especializado en la investigación industrial, el diseño y escalado de procesos desde el laboratorio hasta escala industrial, pasando por el diseño y operación de prototipos y plantas piloto, y los estudios de viabilidad técnico-económica. Ha participado en 20 proyectos de investigación financiados por entidades públicas, de ellos 6 son proyectos europeos. También ha participado en 30 contratos de investigación con empresas por valor de más de 5 millones de Euros.

Parte C. MÉRITOS MÁS RELEVANTES *(ordenados por tipología)*

C.1. Publicaciones

Ayalneh Tiruye, G.; Muñoz-Torrero, D.; Palma, J.; Anderson, M.; Marcilla, R. "All-solid state supercapacitors operating at 3.5 v by using ionic liquid based polymer electrolytes". Journal of Power Sources, 2015, 279, 472-480.

Sanz, L.; Lloyd, D.; Magdalena, E.; Palma, J.; Anderson, M. "Study and characterization of positive electrolytes for application in the aqueous all-copper redox flow battery". Journal of Power Sources, 2015, 278, 175-182.

Ramasamy, C; Palma, J.; Anderson, M. An analysis of ethylene glycol-aqueous based electrolyte system for supercapacitor applications. Journal of Power Sources. 248, pp. 370 - 377. 2014.

Ramasamy, C; Palma, J.; Anderson, M. An electrochemical cell study on polyvinylpyrrolidone aqueous gel with glycol addition for capacitor applications. Electrochimica Acta. 135, pp. 181-186. 2014.

Sanz, L.; Lloyd, D.; Magdalena, E.; Palma, J.; Kontturi, K. Description and Performance of a Novel Aqueous All-Copper Redox Flow Battery. Journal of Power Sources. 268, pp. 121 - 128. 2014.

García-Quismondo, E.; Gómez, R.; Vaquero, F.; Cudero, A.L.; Palma, J.; Anderson, M.A. New testing procedures of a capacitive deionization reactor. Physical Chemistry Chemical Physics. 15, pp. 7648 - 7656. 2013.

Sanz, L.; Palma J.; García-Quismondo, E.; Anderson, M.A. The effect of chloride ion complexation on reversibility and redox potential of the Cu(II)/ Cu(I) couple for use in redox flow batteries. Journal of Power Sources. 224, pp. 278 - 284. 2013.

R. Díaz; M.G. Orcajo; J.A. Botas; G. Calleja; J. Palma. Co8-MOF-5 as electrode for supercapacitors. Materials Letters. 68, pp. 126 - 128. 2012.

Chávez-Capilla, T.; Epifani, M.; Andreu, T.; Arbiol, J.; Palma, J.; Morante, J. R.; Díaz, R. Surface modification of metal oxide nanocrystals for improved supercapacitors. Energy & Environmental Science. 5, pp. 7555 - 7558. 2012.

Marc A. Anderson; Ana L. Cudero; J. Palma. Capacitive Deionization (CDI) as an Electrochemical Means of Saving Energy and Delivering Clean Water: Comparing CDI to Present Desalination Practices: Will it Compete?. Electrochimica Acta. 55, pp. 3845 - 3856. 2010.

C.2. Proyectos

Denominación del proyecto: LPT "La Plataforma Fotovoltaica Total. Proyecto para dotar a las plantas fotovoltaicas de una plataforma que permita el máximo de gestionabilidad de las mismas." (RTC-2015-4153-3)

Investigador/es responsable/es: Santiago Arnaltes (U. Carlos III)

Entidad financiadora: MINECO – Programa Retos Colaboración 2015

Fecha de inicio: 01/07/2015, 3 años

Fecha fin: 2018

Entidades participantes: INGENIA Solar Energy, PV Hardware, Grupo Gransolar, IMDEA Energía, U. Carlos III de Madrid

Cuantía total: 417.700 € (IMDEA Energía)

Denominación del proyecto: DC-SÓIAS “Desionización Capacitiva para el tratamiento de Salmueras procedentes de plantas de Ósmosis Inversa de Agua Salobre” (RTC-2015-3969-5)

Investigador/es responsable/es: Jesús Palma (IMDEA Energía)

Entidad financiadora: MINECO – Programa Retos Colaboración 2015

Fecha de inicio: 01/07/2015, 3 años

Fecha fin: 2018

Entidades participantes: GS Inima, PROINGESA, IMDEA Energía

Cuantía total: 162.400 € (IMDEA Energía)

Denominación del proyecto: Propiedades fundamentales y aplicaciones del grafeno y otros materiales bidimensionales (MAD2D)

Investigador/es responsable/s: Franciso Guinea (ICMM-CSIC)

Entidad/es financiadora/s: Comunidad de Madrid.

Fecha de inicio: 01/10/2014, 4 años

Entidades participantes: ICMM-CSIC ; Universidad Autónoma de Madrid; IMDEA Nanociencia; IMDEA Materiales; IMDEA Energía

Cuantía total: 872.200 € (Total)

Denominación del proyecto: CAPSETA2: “Nanocristales semiconductores diseñados para supercondensadores” (ENE2011-22556)

Investigador/es responsable/es: Raúl Díaz / Jesús Palma

Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia e Innovación – PN de investigación Fundamental

Fecha de inicio: 01/01/2012, 3 años

Fecha fin: 31/12/2014

Entidades participantes: IMDEA Energía

Cuantía total: 145.200 € (IMDEA Energía)

Denominación del proyecto: Aplicación de la desionización capacitiva a aguas residuales (ADECAR).

Investigador/es responsable/es: Jesús Palma (IMDEA Energía)

Entidad/es financiadora/s: Ministerio de Ciencia e Innovación - Programa INNPACTO.

Fecha de inicio: 2011, 3 años

Fecha fin: 2014

Entidades participantes: ISOLUX; NANOQUIMIA; PROINGESA; Universidad de Córdoba e IMDEA Energía.

Cuantía total: 222.000 € (IMDEA Energía)

Denominación del proyecto: del contrato/proyecto: New generation, High Energy and power density SuperCAPacitor based energy storage system (HESCAP).

Investigador/es responsable/es: José Martín Echeverría (CEIT)

Entidad/es financiadora/s: Comisión Europea – FP7

Fecha de inicio: 2010, 3 años

Fecha fin: 2012

Entidades participantes: APowerCap Technologies(Ucrania); CEA-LETI (Francia); CEIT (España); IMDEA Energía (España); National Technical University of Athens (Grecia); Skeleton Technologies (Estonia)

Cuantía total: 397.000 € (IMDEA Energía)

Denominación del proyecto: del contrato/proyecto: Reactor Electroquímico Multiuso para aplicaciones energéticas y medioambientales (REM).

Investigador/es responsable/es: Jesús Palma (IMDEA Energía)

Entidad/es financiadora/s: Ministerio de Ciencia e Innovación - Programa INNPACTO.

Fecha de inicio: 2010, 3 años

Fecha fin: 2013

Entidades participantes: PROINGESA e IMDEA Energía.
Cuantía total: 130.000 € (IMDEA Energía)

C.3. Contratos

Denominación del proyecto: Almacenamiento de energía en plantas fotovoltaicas por medio de baterías de flujo

Calidad en que ha participado: Investigador principal

Entidades participantes: IMDEA Energía

Entidad/es financiadora/s: INGENIA Solar Energy (España)

Fecha inicio: 06/2015, 1 año

Denominación del proyecto: BATERÍA de Flujo Orgánica para vehículos eléctricos de recarga ultrarrápida con surtidores convencionales

Calidad en que ha participado: Investigador principal

Entidades participantes: REPSOL e IMDEA Energía

Entidad/es financiadora/s: Programa Inspire de REPSOL (España)

Fecha inicio: 02/2015, 2,5 años

Denominación del proyecto: Development of new structural materials for energy harvesting and storage

Calidad en que ha participado: Investigador

Entidades participantes: BE Aerospace, IMDEA Materiales e IMDEA Energía

Entidad/es financiadora/s: BE Aerospace (Alemania)

Fecha inicio: 07/2014, 3 años

Denominación del proyecto: Development of a Wide Bandwidth Battery System Charger

Calidad en que ha participado: Investigador

Entidades participantes: IMV Corporation e IMDEA Energía

Entidad/es financiadora/s: IMV Corporation (Japón)

Fecha inicio: 06/2014, 2 años

Denominación del proyecto: Desarrollo de una batería metal–aire recargable

Calidad en que ha participado: Investigador principal

Investigador/a responsable: Jesús Palma

Entidades participantes: ALBUFERA Energy Storage e IMDEA Energía.

Entidad/es financiadora/s: ALBUFERA Energy Storage (España).

Fecha inicio: 10/2013, 2 años

Denominación del proyecto: Efecto de la recarga rápida en baterías Ion-Litio

Calidad en que ha participado: Investigador

Investigador/a responsable: Jesús Palma

Entidades participantes: REPSOL e IMDEA Energía.

Entidad/es financiadora/s: REPSOL (España).

Fecha inicio: 09/2013, 1 año

C.4. Patentes

Denominación: Batería redox con electrolitos inmiscibles

Inventores/autores/obtentores: Navalporo, P.; Anderson, M.; Palma, J.; Marcilla, R.

Entidad titular: IMDEA Energía

Número de solicitud: P201630327

País de prioridad: España

Fecha: 21/03/2016

Denominación: Composite Comprising CNT Fibres and an Ionic Conducting Compound as Part of an Energy Storage Device

CURRÍCULUM ABREVIADO (CVA)

Inventores/autores/obtentores: Vilatela, J.J.; Marcilla, R.; Palma, J.; Senokos, E.; Degenhardt, D.; Ashraf, S.

Entidad titular: B/E Aerospace Systems GmbH, IMDEA Materiales, IMDEA Energía

Número de solicitud: PCT/EP2015/071267

País de prioridad: PCT

Fecha: 16/09/2015

Denominación: Batería de flujo acuosa con pares rédox orgánicos

Inventores/autores/obtentores: Díaz, R.; Isikli, S.; Palma, J.; Carreño, M.C.; Ribagorda, M.; Guillamón, M.A.; Barradas, S.; Lecea, M.

Entidad titular: IMDEA Energía; Universidad Autónoma de Madrid

Número de solicitud: P201330186

País de prioridad: España

Fecha: 13/02/2013

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 ☐ x |
| B: Utilización de muestras biológicas humanas o información genética..... | SI ☐ NO ☐ x |
| C: Experimentación animal..... | SI ☐ NO ☐ x |
| D: Utilización de agentes biológicos de riesgo para la salud humana, animal o para las plantas | SI ☐ NO ☐ x |
| E: Uso de organismos modificados genéticamente (OMGs)..... | SI ☐ NO ☐ x |

En caso de haber contestado afirmativamente a uno o más ítems proceda según se indica en el resto de este anexo:

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 presentar una breve memoria que incluya las actividades a realizar, incluyendo la metodología y el material –en su caso– que se va a utilizar. Dicha memoria deberá enviarse directamente al CEI de la UAM a la dirección de correo electrónico comite.eticainvestigacion@uam.es. Aparte de la memoria, 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

Datos necesarios para la tramitación por el CEI:

- Doctorando: David Muñoz-Torrero Castaño
- Directores: Jesús Palma y Rebeca Marcilla
- Tutor (si el Director es externo): Pilar Ocón
- Departamento: Unidad de Procesos Electroquímicos
- Centro: Fundación IMDEA Energía
- Teléfono:
- Correo electrónico: david.munoztorrero@imdea.org



Firma Doctorando
Fecha: 22/06/2016



Vº Bº Director



Vº Bº Tutor



REBECA MARCILLA