

PLAN DE INVESTIGACIÓN (PI) ¹

Título:

Separación electroquímica de iones basada en procesos capacitivos y faradaicos

Doctorando

Nombre:

Alba Fombona Pascual

e-mail:

alba.fombona@estudiante.uam.es

Director

Nombre:

Julio José Lado Garrido

Institución:

IMDEA Energía

Co-Director

Nombre:

Jesús Palma del Val

Institución:

IMDEA Energía

Tutor

Nombre:

Pilar Ocón Esteban

Fecha de Matrícula: 13/06/2022

Fecha: 13/09/2022

Tesis en cotutela: ☒ SI ☐ NO

Universidad:

Universidad Autónoma de Madrid

Doctorado Industrial: ☐ SI ☒ NO

Empresa en que el doctorado está contratado:

¹ Este documento deberá tener una extensión orientativa de entre cinco y diez páginas, anexos aparte. No será necesaria la cumplimentación de los subapartados 3.1 y 3.2 en aquellos programas en los que las comisiones académicas así lo establezcan.

1. Antecedentes y estado actual del tema

El informe de las Naciones Unidas de 2021 sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo ha estimado que alrededor del 80 % de las aguas residuales industriales y municipales se liberan al medio ambiente sin tratamiento previo. A este problema se añade el hecho de que más de 2 mil millones de personas viven actualmente en áreas sujetas a estrés hídrico, y más del 45 % de la población mundial carecen de acceso a instalaciones de saneamiento gestionadas de forma segura [1]. Debido a estas dificultades, el informe indica que la escasez del agua dulce se ha ido incrementando en las últimas décadas, estimándose que podría llegar a alcanzarse un déficit global de agua del 40 % para 2030. Ante este escenario es necesario también tener en cuenta que el suministro de agua dulce se está viendo comprometido por impactos globales como el COVID-19, el cambio climático y el desarrollo económico. Estos factores repercuten, tanto en la disponibilidad de agua, como en su calidad, convirtiéndose en un factor clave de la migración debido a su impacto en la salud y los medios de vida [1-3]. Estas circunstancias han llevado a destacar la importancia del acceso y la gestión sostenible de agua y saneamiento como uno de los temas relevantes dentro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible [4].

Por otro lado, asociado al rápido desarrollo de la industria, se ha incrementado la cantidad de aguas residuales que podrían ser reutilizadas y valorizadas aplicando tecnologías adecuadas y desarrollando tratamientos más eficientes. En este sentido, es significativa la presencia de compuestos/materiales valiosos presentes en los efluentes líquidos de distintas industrias. Dentro de estas corrientes podemos destacar las salmueras producidas en las plantas de desalación, los lixiviados de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos o las aguas residuales agrícolas. Todos estos flujos de deshecho tienen un alto potencial de reciclaje, y pese a que los gobiernos tratan de avanzar hacia una economía circular, la tasa de reciclaje al final de la vida útil es, aún, generalmente baja. Así pues, la importancia, por un lado, de tratar adecuadamente estas corrientes acuosas y, por otro, de recuperar estos materiales de gran valor para la industria, han impulsado la necesidad de modernizar las tecnologías de tratamiento en la última década [5, 6].

Con el fin de desarrollar sistemas eficientes y de bajo coste para la captura de iones de interés se han investigado diferentes enfoques en busca de una separación selectiva que consuma una cantidad moderada de energía [7, 8]. En este sentido, el empleo de distintos tratamientos electroquímicos ha atraído la atención de la comunidad científica en los últimos años [9-13]. En el marco de estos estudios, la desionización capacitiva (CDI) ha emergido como una de las tecnologías empleada tanto para la desalación de aguas salobres como para la separación de iones. La CDI se basa en el establecimiento de una diferencia de potencial entre un par de electrodos lo que favorece que los iones sean adsorbidos en la doble capa eléctrica (EDL, por sus siglas en inglés) de los electrodos porosos de carbón. De esta manera es posible reducir el contenido de sales de la disolución a tratar al mismo tiempo que se almacena parte de la energía empleada en la desalación. En una segunda etapa de descarga, los iones son liberados de vuelta a una disolución de regeneración o lavado, por un lado, formando una salmuera y, por otro, recuperando parte de la energía almacenada, lo que incide en la eficiencia del proceso desde el punto de vista del consumo energético [9,14]. A esta ventaja debemos unir que la CDI evita los inconvenientes de los procesos térmicos como la destilación que requieren elevadas temperaturas o la operación en condiciones de alta presión como ocurre en los

procesos de membrana. Esto es así debido a que la fuerza motriz del proceso se basa en la aplicación de bajos potenciales eléctricos (por debajo de 1.5 V). Estas ventajas dan lugar a un consumo de energía de la CDI reducido por volumen de agua dulce producida a partir de agua salobre ($1.0\text{-}0.5\text{ Wh m}^{-3}$) en comparación con la osmosis inversa que consume en torno a $2.5\text{-}5.0\text{ Wh m}^{-3}$ [15].

Una de las perspectivas de investigación en el campo de la desionización capacitiva es hacia la fabricación de reactores con arquitecturas que muestren un alto rendimiento de electrosorción, mejorando la capacidad de adsorción de sal (SAC), la tasa de capacidad de adsorción (SAR), la eficiencia de carga y el consumo energético [14]. Las arquitecturas se basan en diferentes configuraciones incluyendo celdas sin separador o compartimentadas por medio de membranas, celdas de flujo paralelas a los electrodos (flow-by) o a través de los electrodos (flow-through), electrodos sólidos o semisólidos, etc. [14]. Si bien se han realizado importantes avances, existe todavía margen de mejora tanto en el diseño de nuevas configuraciones como en el ensayo y escalado de stacks.

A pesar de las ventajas planteadas, la CDI presenta una serie de retos en su aplicación. En ese sentido, es necesario puntualizar que, durante el proceso de carga, junto a la adsorción de los contra-iones, tienen lugar la liberación de co-iones de forma simultánea, lo que resulta en una pérdida de eficiencia significativa [5,14]. Para abordar este problema, una posible solución consistió en incorporar membranas de intercambio iónico junto a los electrodos, dando lugar a una nueva tecnología, la desionización capacitiva con membrana (MCDI, por las siglas de *membrane capacitive deionization*) [14, 16]. Sin embargo, la captura de iones tanto en los sistemas CDI como en MCDI se encuentra limitada por la capacidad de adsorción de los distintos electrodos de carbón, lo cual desaconseja su uso en procesos para desalinizar agua con alta concentración de sales (por encima de 10 g L^{-1}) [7,17]. Esto se debe principalmente a las limitaciones físicas y la naturaleza no selectiva del proceso EDL que da como resultado una capacidad limitada de almacenamiento de iones.

Como alternativa, en 2012 M. Pasta y colaboradores introdujeron el concepto de batería desaladora [12]. En este caso, el sistema funciona de manera similar a CDI excepto que, en lugar de almacenar iones en la EDL del electrodo poroso de carbón, los iones son capturados mediante procesos faradaicos de intercalación o conversión. Debido a que los materiales de intercalación empleados para capturar los iones son típicamente usados en baterías para almacenamiento de energía, este proceso recibe el nombre de desionización faradaica (*faradaic deionization*, FDI). En comparación con los materiales de CDI, los materiales de intercalación suelen tener una mayor selectividad iónica y capacidad de almacenamiento de carga, lo que conduce a una alta capacidad de desalinización. Así los valores de capacidad específica de adsorción para CDI se encuentran entre $10\text{-}25\text{ mg g}^{-1}$ mientras que en el caso de los electrodos faradaicos, los valores pueden llegar a alcanzar los 130 mg g^{-1} . Además, dado que dependiendo de la naturaleza de los materiales de FDI solo se intercalan de forma específica bien cationes o bien aniones, se evitaría el efecto de expulsión de co-iones [5-7].

Posteriormente al trabajo de Pasta, Lee *et al.* propusieron un sistema de desionización capacitiva híbrida (HCDI) que combinaba dos materiales diferentes en los electrodos, uno basado en doble capa eléctrica y otro faradaico [12,17]. En este caso, el material faradaico intercala cationes de la solución salina mediante reacciones redox reversibles mientras que el electrodo de carbono adsorbe aniones de forma capacitiva. Esta selección es debida a que existe una mayor variedad de materiales faradaicos que absorben cationes frente a muy pocos

materiales que capturan aniones. Entre los electrodos capaces de capturar cationes se encuentran los óxidos de sodio y manganeso, los fosfatos de titanio de sodio, los *MXenes*, el hexacianoferrato de hierro y sodio y las políimidas [7, 15,16, 20-26]. En el caso de los aniones, los cuales presentan una mayor dificultad para su separación selectiva, los materiales más empleados son plata, bismuto y, recientemente los compuestos de polipirrol y carbón activado [7]. Al desarrollo de estas investigaciones le siguieron estudios en el uso de sistemas con dos electrodos de intercalación, bien simétricos (forma oxidada y reducida del mismo material) o asimétricos (dos materiales de intercalación distintos). Estos se colocaron en celdas bajo la configuración de tipo *rocking chair* que permitía la operación de un proceso de desalación en continuo frente a la CDI, MCDI o HCDI en los que se opera de forma discontinua. Posteriormente esta configuración dio lugar a aplicaciones para la captura selectiva de iones (litio, separaciones mono/divalentes, Li^+/K^+) mediante lo que se denominó “bombeo electroquímico de iones” (*electrochemical ion pumping*) [9, 18, 19].

Al igual que la CDI, los sistemas electroquímicos basados en electrodos de intercalación también presentan una serie de retos. Así, de forma similar a como ocurre en las baterías, la mayor parte de los procesos de inserción/desinserción de iones provocan cambios de volumen que generan tensiones mecánicas, dando lugar a una degradación de la capacidad de captura de iones. Este aspecto puede comprometer por tanto la viabilidad tecnoeconómica y la sostenibilidad de los sistemas faradaicos de separación de iones [9], lo que ha hecho que se dediquen importantes esfuerzos a mejorar la estabilidad de estos materiales en el largo plazo.

La presente tesis doctoral pretende estudiar distintas estrategias para mejorar los sistemas electroquímicos de captura selectiva de iones, tanto desde el punto de vista de la capacidad de captura y cinética del proceso, como del consumo energético y el coste del mismo. Para ello se abordará desde el estudio de distintos tipos de materiales (capacitivos y faradaicos) hasta el diseño y optimización de las celdas electroquímicas de desionización. Desde el punto de vista de las aplicaciones, en el proyecto de tesis se investigarán aplicaciones diversas que impliquen la captura y separación de iones desde la desalación a la recuperación de especies de interés económico en efluentes industriales.

1.1. Experiencia previa del Grupo de Investigación

La Unidad de Procesos Electroquímicos de IMDEA Energía se creó en 2008 bajo la dirección del Profesor Marc A. Anderson de la Universidad de Wisconsin-Madison y, desde entonces, sus investigadores han estado trabajando en dos líneas de investigación: el desarrollo de tecnologías electroquímicas para el almacenamiento de energía, y el estudio del nexo Agua-Energía existente entre los procesos electroquímicos de almacenamiento de energía y los tratamientos de agua de alta eficiencia energética. Fruto de estos trabajos tuvo lugar la publicación de un review sobre CDI que ha tenido un gran impacto (Capacitive deionization as an electrochemical means of saving energy and delivering clean water. Comparison to present desalination practices: Will it compete? *Electrochimica Acta* 55 (2010) 3845–3856) y en el que también participó Jesús Palma, actual jefe de la Unidad y co-director de la tesis.

En 2017, con la incorporación de Julio J. Lado, el grupo refuerza la línea de investigación orientada a la aplicación de tecnologías electroquímicas para aplicaciones medioambientales como la desionización capacitiva, las baterías desaladoras y la eliminación selectiva de iones, siempre desde la perspectiva del Nexo Agua-Energía.

Dentro de esta línea de investigación, el supervisor de esta tesis doctoral ha publicado más de 20 artículos entre los que cabe destacar:

- A successful transition from a vanadium redox flow battery stack to an energy efficient electrochemical desalination module, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 9 (6), (2021) 106875.
- Performance analysis of a capacitive deionization stack for brackish water desalination. *Desalination* 501 (2021) 114912
- Strategies to boost capacitive deionization performance of 3D electrodes. *Separation and Purification Technology* 273 (2021) 118977
- Low-energy consumption, free-form capacitive deionization through nanostructured networks. *Carbon* (2021) 176, 390-399.
- Graphite felt 3D framework composites as an easy to scale capacitive deionization electrode for brackish water desalination. *Chemical Engineering Journal* 392 (2020) 123698
- Sugarcane Biowaste-Derived Biochars as Capacitive Deionization Electrodes for Brackish Water Desalination and Water-Softening Applications. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2019, 7, 18992–19004
- Removal of nitrate by asymmetric capacitive deionization. *Separation and Purification Technology* 183 (2017) 145–152.

En los últimos años, dentro de la línea de investigación se comenzó a estudiar el empleo de materiales faradaicos (Regenerative electrochemical ion pumping cell based on semi-solid electrodes for sustainable Li recovery. *Desalination* 533 (2022) 115764), viendo un gran potencial al empleo de este tipo de materiales en diferentes conformaciones (electrodos sólidos, semisólidos y configuraciones *single pass* o *rocking chair*). Fruto de estos estudios, Julio J. Lado fue seleccionado dentro del programa de Talento de la Comunidad de Madrid en la modalidad de Investigador Senior para el desarrollo del proyecto SELECTVALUE (2020-T1/AMB-19799) en IMDEA Energía, Instituto de investigación que cuenta con la acreditación de “Unidad de Excelencia María de Maeztu”. Esta tesis se enmarca por tanto dentro de este proyecto en el que se pretende estudiar el campo del empleo de materiales capacitivos y faradaicos para la captación selectiva de materiales de interés a partir de corrientes de desecho.

2. Objetivos y planteamiento

El objetivo principal de la tesis es optimizar las prestaciones de los sistemas electroquímicos de desionización capacitiva y faradaica. Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. **Estudio de posibles escenarios de aplicación de procesos electroquímicos de captura de iones.** Para ello se hará un análisis bibliográfico, determinando los diferentes efluentes con materiales de interés como serían las salmueras, corrientes agrícolas, o a partir del reciclaje de baterías.
2. **Estudio de materiales activos para su aplicación en procesos electroquímicos de captura de iones.** Se enfocará fundamentalmente en electrodos faradaicos y capacitivos. Respecto a estos materiales se estudiarán materiales estructuralmente y electroquímicamente que puedan presentar altos valores de capacidad eléctrica, una

cinética adecuada y una buena estabilidad. En general, se analizarán materiales con diferentes estructuras o grupos funcionales para optimizar la selectividad iónica.

3. **Estudio de distintas conformaciones de electrodos.** Se analizarán diferentes tipos de composiciones en electrodos sólidos (proporción de material activo, aditivo conductor y aglomerante y semisólidos para la desionización electroquímica con el objetivo de optimizar la conductividad eléctrica, facilitar la captura de especies, y mejorar la eficiencia energética. Los estudios en celda nos permitirán conocer la capacidad de adsorción (SAC) como la cinética de captura. Aspectos como la eficiencia de carga serán tenidos en cuenta.
4. **Optimización del diseño de la celda.** El objetivo consiste en evaluar diferentes diseños fabricados mediante impresión 3D para optimizar la entrada y salida del flujo de electrolito y su distribución a lo largo del electrodo.
5. **Estudio del proceso de captura de iones energéticamente eficiente.** El objetivo final se basa en optimizar el consumo de energía y la producción de este tipo de tecnología durante el proceso de captura de iones.

3. Metodología y plan de trabajo

Para la captura selectiva de iones, primero se estudiarán los efluentes de interés y los iones presentes (Objetivo 1). A partir de ahí se elaborará una lista de los requisitos que presentan dichas especies cargadas para su captura y, en función de ellos se seleccionarán o sintetizarán los materiales más adecuados para fabricar electrodos con altas capacidades de adsorción/intercalación, capaces de realizar el proceso de separación selectiva. Además, para acelerar los procesos de aprendizaje y selección con la finalidad de evaluar en mayor profundidad el estado del arte y así sacar el mayor rendimiento al Objetivo 1 se pretende aplicar conceptos de *machine learning*. (Mes 12)

El estudio de los materiales activos seleccionados (Objetivo 2) se llevará a cabo desde el punto de vista estructural y electroquímico. Para ello, primero se realizarán análisis por técnicas de microscopía, difracción de rayos X así como propiedades texturales. Posteriormente se realizarán caracterizaciones electroquímicas preliminares en celda de tres electrodos y pilas de botón. (Mes 18)

Se estudiarán diferentes metodologías de preparación de los electrodos (Objetivo 3), entre las que se analizará la posibilidad de utilizar electrodos preparados sin la necesidad de aglomerantes, siguiendo dos líneas diferentes: empleo de nanotubos de carbono en conformaciones de *buckypapers* y empleo de electrodos semisólidos. Por otro lado, se pretende optimizar el diseño de la celda de flujo haciendo uso de métodos de diseño e impresión 3D (Objetivo 4). (Mes 24)

Por último, para cada sistema de desionización diseñado se definirán las condiciones operacionales óptimas que permitan optimizar la separación de los iones y minimizar la demanda de energía, de tal forma que el sistema pueda almacenar energía durante el proceso (Objetivo 5). Adicionalmente, se pretende diseñar el proceso de desionización acorde a las necesidades reales de la industria, evaluando la factibilidad del proceso tecnológico. (Mes 36)

El cronograma para la ejecución de la tesis es el siguiente:

Objetivos		Años		
Nº	Descripción	Año 1	Año 2	Año 3
1	Estudio de posibles escenarios de aplicación de procesos electroquímicos.	■ ■ ■ ■ ■		
2	Estudio de materiales activos para su aplicación en procesos electroquímicos.	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■ ■
3	Estudio de distintas conformaciones de electrodos.		■ ■ ■ ■ ■	
5	Optimización del diseño de la celda.		■ ■ ■ ■ ■	
6	Estudio del proceso de captura de iones energéticamente eficiente.			■ ■ ■ ■ ■

3.1. Impacto previsto

El estudio propuesto en esta tesis se enmarca en el proyecto SELECTVALUE ((2020-T1/AMB-19799) del programa Talento de la Comunidad de Madrid tal y como se ha mencionado anteriormente, por lo que los objetivos de esta tesis se encuentran alineados con los de este proyecto. En este sentido, los estudios planteados para este trabajo de tesis forman parte de una línea de investigación completamente nueva centrada en la separación de especies cargadas de los efluentes líquidos mediante métodos electroquímicos energéticamente eficientes. Esta línea de investigación permitirá a la comunidad científica aprovechar el amplio conocimiento existente en el campo del almacenamiento de energía para su aplicación en enfoques más multidisciplinarios que involucren aplicaciones ambientales e industriales. Este aspecto es fundamental para la transición a una economía circular en el marco de las actividades de extracción de recursos a partir de corrientes de desecho reduciendo de esta manera los daños ambientales. En este sentido se espera que los resultados de esta tesis contribuyan positivamente a la investigación y los retos relacionados con el cambio climático, el uso eficiente de recursos y la reutilización y reciclado de materiales, los cuales quedan especificados en el *"European Green Deal"* propuesto por la Comisión Europea. Además, debido al impacto significativo de los materiales críticos en las industrias relacionadas con la movilidad eléctrica y las energías renovables, los resultados de esta tesis podrían tener una gran relevancia en temas relacionados con una energía segura, eficiente y limpia.

3.2. Plan de financiación y movilidad

La tesis se realizará IMDEA Energía, centro que dispone del Sello de Excelencia en Recursos Humanos de Investigación-HRS4R, una acreditación con la que se distingue la labor del centro a la hora de adoptar buenas prácticas en materia de contratación de investigadores, generando y apoyando el desarrollo de un mercado laboral europeo atractivo y estimulante para los científicos.

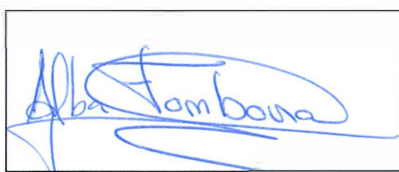
La tesis recibe el apoyo económico de las Ayudas destinadas a la Atracción de Talento Investigador Modalidad 1 de la Comunidad de Madrid (Ref: 2020-T1/AMB-19799), que el salario del doctorando, la adquisición de equipamiento o material inventariable, la adquisición de material fungible y gastos relacionados con viajes y dietas del doctorando.

El proyecto al que se encuentra asociada la tesis incluye la financiación para atender a una escuela de verano y realice una estancia de 3 meses en un grupo especializado en una de las temáticas descritas en la propuesta.

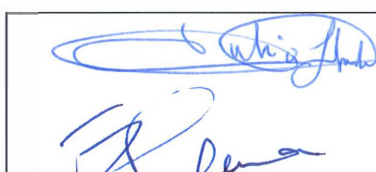
4. Bibliografía inicial

- [1] World Water Assessment Programme (United Nations), UN-Water., Unesco. *THE UNITED NATIONS WORLD WATER DEVELOPMENT REPORT 2021.*; 2021
- [2] Rachman G. The threat of conflict over water is growing. *Financ Times*. 2021
- [3] World Economic Forum. *The Global Risks Report 2022 17th Edition.*; 2022
- [4] Bou E. *EIT InnoEnergy Impact Report 2020.*; 2020. Accessed May 12, 2022. <https://sdgs.un.org/es/goals>
- [5] Li Y, Ding Z, Li J, Wang K, Lu T, Pan L. Novel membrane-free hybrid capacitive deionization with a radical polymer anode for stable desalination. *Desalination*. 2020;481. doi:10.1016/j.desal.2020.114379
- [6] Reale ER, Regenwetter L, Agrawal A, et al. Low porosity, high areal-capacity Prussian blue analogue electrodes enhance salt removal and thermodynamic efficiency in symmetric Faradaic deionization with automated fluid control. *Water Res X*. 2021;13. doi:10.1016/j.wroa.2021.100116
- [7] Zhang B, Boretti A, Castelletto S. Mxene pseudocapacitive electrode material for capacitive deionization. *Chem Eng J*. 2022;435. doi:10.1016/j.cej.2022.134959
- [8] Yu F, Wang L, Wang Y, Shen X, Cheng Y, Ma J. Faradaic reactions in capacitive deionization for desalination and ion separation. *J Mater Chem A*. 2019;7(27):15999-16027. doi:10.1039/c9ta01264h
- [9] Perez-Antolin D, Irastorza C, Gonzalez S, et al. Regenerative electrochemical ion pumping cell based on semi-solid electrodes for sustainable Li recovery. *Desalination*. 2022;533(April):115764. doi:10.1016/j.desal.2022.115764
- [10] Li Q, Zheng Y, Xiao D, et al. Faradaic Electrodes Open a New Era for Capacitive Deionization. *Adv Sci*. 2020;7(22). doi:10.1002/advs.202002213
- [11] Yoon H, Lee J, Kim S, Yoon J. Review of concepts and applications of electrochemical ion separation (EIONS) process. *Sep Purif Technol*. 2019;215(December 2018):190-207. doi:10.1016/j.seppur.2018.12.071
- [12] Pasta M, Wessells CD, Cui Y, La Mantia F. A desalination battery. *Nano Lett*. 2012;12(2):839-843. doi:10.1021/nl203889e
- [13] He D, Wong CE, Tang W, Kovalsky P, David Waite T. Faradaic Reactions in Water Desalination by Batch-Mode Capacitive Deionization. *Environ Sci Technol Lett*. 2016;3(5):222-226. doi:10.1021/acs.estlett.6b00124
- [14] Datar SD, Mane R, Jha N. Recent progress in materials and architectures for capacitive deionization: A comprehensive review. *Water Environ Res*. 2022;94(3). doi:10.1002/wer.10696
- [15] Srimuk P, Lee J, Tolosa A, Kim C, Aslan M, Presser V. Titanium Disulfide: A Promising Low-Dimensional Electrode Material for Sodium Ion Intercalation for Seawater Desalination. *Chem Mater*. 2017;29(23):9964-9973. doi:10.1021/acs.chemmater.7b03363
- [16] Lee J, Srimuk P, Zwingelstein R, et al. Sodium ion removal by hydrated vanadyl phosphate for electrochemical water desalination. *J Mater Chem A*. 2019;7(8):4175-4184. doi:10.1039/c8ta10087j
- [17] Lee J, Kim S, Kim C, Yoon J. Hybrid capacitive deionization to enhance the desalination performance of capacitive techniques. *Energy Environ Sci*. 2014;7(11):3683-3689. doi:10.1039/c4ee02378a

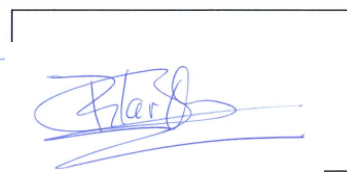
- [18] Trócoli R, Erinmwingbovo C, La Mantia F. Optimized Lithium Recovery from Brines by using an Electrochemical Ion-Pumping Process Based on I-MnO₂ and Nickel Hexacyanoferrate. *ChemElectroChem*. 2017;4:143-149.
- [19] Siekierka A, Kujawa J, Kujawski W, Bryjak M. Lithium dedicated adsorbent for the preparation of electrodes useful in the ion pumping method. *Sep Purif Technol*. 2018;194(November 2017):231-238. doi:10.1016/j.seppur.2017.11.045
- [20] Smith KC, Dmello R. Na-Ion Desalination (NID) Enabled by Na-Blocking Membranes and Symmetric Na-Intercalation: Porous-Electrode Modeling. *J Electrochem Soc*. 2016;163(3):A530-A539. doi:10.1149/2.0761603jes
- [21] Lee J, Kim S, Yoon J. Rocking Chair Desalination Battery Based on Prussian Blue Electrodes. *ACS Omega*. 2017;2(4):1653-1659. doi:10.1021/acsomega.6b00526
- [22] Porada S, Shrivastava A, Bukowska P, Biesheuvel PM, Smith KC. Nickel Hexacyanoferrate Electrodes for Continuous Cation Intercalation Desalination of Brackish Water. *Electrochim Acta*. 2017;255:369-378. doi:10.1016/j.electacta.2017.09.137
- [23] Kim S, Lee J, Kim C, Yoon J. Na₂FeP₂O₇ as a Novel Material for Hybrid Capacitive Deionization. *Electrochim Acta*. 2016;203:265-271. doi:10.1016/j.electacta.2016.04.056
- [24] Huang Y, Chen F, Guo L, Yang HY. Ultrahigh performance of a novel electrochemical deionization system based on a NaTi₂(PO₄)₃/rGO nanocomposite. *J Mater Chem A*. 2017;5(34):18157-18165. doi:10.1039/c7ta03725b
- [25] Chen Z, Xu X, Liu Y, et al. Ultra-durable and highly-efficient hybrid capacitive deionization by MXene confined MoS₂ heterostructure. *Desalination*. 2022;528. doi:10.1016/j.desal.2022.115616
- [26] Li Y, Ding Z, Li J, Li J, Lu T, Pan L. Highly efficient and stable desalination via novel hybrid capacitive deionization with redox-active polyimide cathode. *Desalination*. 2019;469. doi:10.1016/j.desal.2019.114098



Firma Doctorando



Vº Bº Director



Vº Bº Tutor

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

Adjuntar en documento aparte un CV *abreviado* del director o directores, preferentemente en el formato utilizado por el MINECO, indicando únicamente méritos de investigación y transferencia, referidos solo a los últimos 6 años.

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: La investigación implica contacto habitual con menores..... ☐ SI ☒ NO
- C: Utilización de muestras biológicas humanas o información genética..... ☐ SI ☒ NO
- D: Experimentación animal..... ☐ SI ☒ NO
- E: Utilización de agentes biológicos de riesgo para la salud humana, animal o para las plantas ☐ SI ☒ NO
- F: Uso de organismos modificados genéticamente (OMGs)..... ☐ SI ☒ NO

En caso de haber contestado afirmativamente a uno o más ítems, y después de que el Plan de Investigación haya sido evaluado por la Comisión Académica del Programa de Doctorado, el doctorando debe enviar copia de este anexo (junto con la documentación requerida) al Comité de Ética de la Investigación (CEI) de la UAM a la dirección de correo electrónico:

comite.etica@investigacion@uam.es

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

- Título del proyecto:
- Investigador Principal:
- Fecha y código de aprobación por el CEI-UAM2:

Si el trabajo de investigación no se enmarca en un Proyecto ya aprobado, se ha de enviar, junto al presente Anexo, el Plan de Investigación, que debe incluir las actividades a realizar, y especificar la metodología y el material –en su caso– que se va a utilizar.

Aparte del Plan de Investigación con sus anexos, 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).

²Que puede ser el CEI-UAM o, en su caso, el CEI de otra institución colaboradora con el Programa de Doctorado, que tendrá que especificarse y adjuntarse.

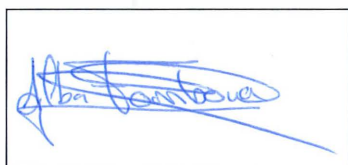
- En el **supuesto B**, se deberá adjuntar el documento del Registro Central de Delincuentes Sexuales.³ En el caso de estudiantes extranjeros (incluidos los nacionales de

Estados miembros de la Unión Europea), este certificado deberá ser complementado con certificado equivalente expedido por el país de su nacionalidad, pudiendo aceptarse la aportación por parte del interesado del resguardo de haber solicitado el certificado a las autoridades de su país junto con una declaración responsable ⁴ con carácter provisional hasta la aportación del certificado original.

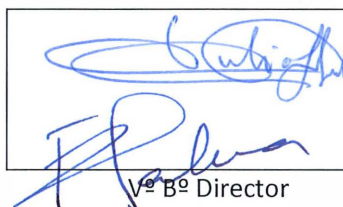
- En el **supuesto C**, si la investigación es prospectiva, se deberá aportar el documento de **consentimiento informado** a utilizar donde conste la información detallada que recibirá el participante en el estudio. Si la investigación es retrospectiva deberá presentarse la autorización del uso de las 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 D**, se deberá adjuntar el Informe del Órgano Encargado del Bienestar de los Animales (OEBA) y, en su caso, del Órgano Habilitado.
- 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. 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 F**, 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.

Datos necesarios para la tramitación por el CEI:

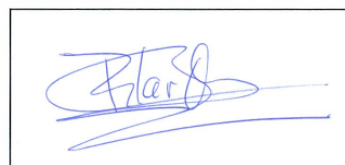
- Título de la Tesis: Separación electroquímica de iones basada en procesos capacitivos y faradaicos
- Doctorando: Alba Fombona Pascual
- Teléfono del doctorando: 655526622
- Correo electrónico del doctorando: alba.fombona.pascual@gmail.com
- Programa de Doctorado en: Electroquímica, Ciencia y Tecnología
- Director: Julio José Lado garrido y Jesús Palma del Val
- Tutor (si el Director es externo): Pilar Ocón Esteban



Firma Doctorando



Vº Bº Director



Vº Bº Tutor

Fecha: 13 / 09 / 2022 (y del Codirector en su caso)

(en su caso)

³ <http://www.mjusticia.gob.es/cs/Satellite/Portal/es/ciudadanos/tramites-gestiones-personales/certificado-delitos>

⁴ <http://www.uam.es/otros/ceiuam/documentCEI.htm>

Part A. PERSONAL INFORMATION

CV date

22/06/2022

First and Family name	Julio José Lado Garrido		
Social Security, Passport, ID number	50743321P	Age	39
Researcher codes	Open Researcher and Contributor ID (ORCID**)	orcid.org/0000-0003-1208-1250	
	SCOPUS Author ID (*)	55883807800	
	WoS Researcher ID (*)	L-1508-2013	

(*) Optional

(**) Mandatory

A.1. Current position

Name of University/Institution	IMDEA Energy		
Department	Electrochemical Processes Unit		
Address and Country	Avda. Ramón de la Sagra, 3 Parque Tecnológico de Móstoles 28935 – Móstoles, Madrid (Spain)		
Phone number	+34 91 737 11 49	E-mail	julio.lado@imdea.org
Current position	Senior Researcher	From	1/2022
Keywords	Electrochemical Ion Separation, Capacitive Deionization, Water-Energy Nexus, Battery Desalination, Electrosorption, Desalination		

A.2. Education

PhD, Licensed, Graduate	University	Year
Bachelor	Chemistry	2007
Master en Hydrology and Water Resources Management	Universidad de Alcalá y Universidad Rey Juan Carlos	2008
PhD Hydrology and Water Resources Management	Universidad de Alcalá y Universidad Rey Juan Carlos	2014

A.3. General indicators of quality of scientific production (see instructions)

Total Citation: 802 / H-Index: 17 / Articles: 24

Part B. CV SUMMARY (max. 3500 characters, including spaces)

The C.V. of Julio J. Lado shows a significant multidisciplinary character, a strong publication record achieved working in several international environments (USA, Brazil and Germany), scientific independence and funding ability.

Julio J. Lado obtained his PhD in 2014 in Hydrology and Water Resources Management at the University of Alcalá. Bachelor in Chemistry by the University of Alcalá, he conducted the final part of his studies at the Technischen Universität Darmstadt (Germany) funded by an Erasmus Grant and at CAL GmbH & Co laboratories funded by the Goya-Leonardo industrial program.

After his Master, Lado started his **PhD in IMDEA Water Institute** under the supervision of Prof. Eloy García Calvo in collaboration with the Environmental Engineering Department of the **University of Wisconsin-Madison (USA)** under the supervision of Prof. Marc A. Anderson (Different **research stays amounting for 2.5 years**). There, Lado studied the use of metal oxide coating carbon electrodes in an emerging electrochemical water treatment technology named capacitive deionization (CDI). As result of his thesis studies, he published 9 articles, collaborated with companies such as UR-Water or AquaMost in research projects funded by National Science Foundation and Office of Naval Research.

In 2014, he started his postdoctoral career in the group of Assistant Professor Luis A.M. Ruotolo (**UFSCar, Brazil**) by receiving a prestigious **fellowship from the CAPES** (Brazilian Research Government Agency) in which **he was ranked in the first position**. During his stay, he studied the use of biowaste materials as precursors for preparing activated carbon electrodes for energy storage and environmental applications. His work crystallized in 5 different articles (Carbon, 2017 and ACS SusChem 2019).

In February 2017 he joined the **Electrochemical Processes Unit in IMDEA Energy** funded by **Talent postdoctoral program of the Comunidad of Madrid-Spain**. The core of his work is focused on developing a research line based on **energy efficient electrochemical processes for environmental applications**. Initially he collaborated in the **DC-SOIAS project** funded by MINECO through the Retos Call (RTC-2015-3969-5) developed in collaboration with companies GS-INIMA and PROINGESA. The

aim of the project was to evaluate and study sustainable treatments of reverse osmosis (RO) desalination brines. Recent articles published in Chem. Eng. Journal (2020), and Desalination (2021) showed the scaling up process achieved in this project from single electrochemical cell of 1 cm² to CDI stacks of 1200 cm². In the second half of his TALENTO grant Lado was involved in research lines focused on **electrochemical ion separation**. A singular configuration based on injectable semi-solid electrodes was configured to capture and separate lithium ions was explored resulting in a **European patent**. As a result of the total period of the TALENTO M2 grant, 12 articles were published and one patent was submitted. Moreover, two visiting researchers and seven Master students were supervised. **At the end of 2021 he was awarded with two grants: JIN funded by Ministry of Science and Talento Senior by the Comunidad de Madrid**. The objective of the Talento proposal, named **SELECTVALUE**, is to explore the potential of electrochemical ion pumping technologies to recover critical materials for the European Industry from waste streams. Moreover, he is currently participating in international projects such as **FET Proactive – HYSOLCHEM**, focused on organic compounds capture and degradation by electrochemical methods, while keeping the **industrial projects with companies such REWAISE funded by FCC Aqualia in the framework of an H2020 project**.

Julio J. Lado is co-author of 24 scientific publications with 760 citations, with an h index of 16. He is author of 2 patents and has participated in 30 international conferences (26 oral presentations and 4 posters). He has already directed 8 Master Thesis and he is also currently supervising 3 predoctoral researchers and 3 master students.

Part C. RELEVANT MERITS

C.1. Publications (including books)

- Perez-Antolin, D., Irastorza, D., Gonzalez, S., Moreno, R., García-Quismondo, E., Palma, E., **Lado, J.J.**, Ventosa E. Regenerative electrochemical ion pumping cell based on semi-solid electrodes for sustainable Li recovery. Desalination (2022) 533, 115764. Q1-IF: 9.501. *Corresponding author*.
- **Lado, J. J.**, García-Quismondo, E., Almonacid, I., García G-, Burillo G.C. and Palma J. A successful transition from a vanadium redox flow battery stack to an energy efficient electrochemical desalination module. Journal of Environmental Chemical Engineering (2021), 9(6), 106875. Q1- IF: 5.909. *Corresponding author*.
- Santos, C., Vázquez-Rodríguez, I., **Lado, J. J.**, Vila, M., García-Quismondo, E., Anderson, M.A., Palma, J., Vilatela, Juan J. Low-energy consumption, free-form capacitive deionisation through nanostructured networks. Carbon (2021), 176, 390-399 .Q1-IF:9.594. *Corresponding author*.
- M.A. Freire, Jessica, **Lado, J. J.**, García-Quismondo, E., C. Burillo, G., Palma, J., R. Loiola, A., Longhinotti, E., Anderson. M. A. Strategies to boost capacitive deionization performance of 3D electrodes. Separation and Purification Technology (2021), 118977. Q1-IF: 5.774. *Corresponding author*.
- **Lado, J. J.**, Cartolano, V., García-Quismondo, E., García G., Almonacid, I., Senatore V.,Naddeo, V.; Palma, J., Anderson, M.A. Performance Analysis of a Capacitive Deionization Stack for Brackish Water Desalination. Desalination (2021) 501, 114912. Q1-IF: 9.501. *Corresponding author*.
- Wang, Y., Vázquez-Rodríguez, I., Santos, C., García-Quismondo, E., J., Palma, J., Anderson, M.A and **Lado, J. J.** Graphite Felt 3D Framework Composites as an Easy to Scale Capacitive Deionization Electrode for Brackish Water Desalination. Chem. Eng. Journal. (2020), 123698. Q1, *Corresponding author*.
- Santos, C., García-Quismondo, E., J., Palma, J., Anderson, M.A and **Lado, J.J.** Understanding Capacitive Deionization Performance by Comparing Its Electrical Response with an Electrochemical Supercapacitor: Strategies to Boost Round-trip Efficiency. Electrochimica Acta (2019), 330, 135216. Q1, *Corresponding author*.
- **Lado, J.J.**, Zornitta, R. L., Vázquez-Rodríguez, I., Malverdi Barcelos, K., and Ruotolo, L. A. M.Sugar Cane Biowaste-derived Biochars as Capacitive Deionization Electrodes for Brackish Water Desalination and Water Softening Applications. ACS Sustainable Chemistry & Engineering (2019). 7 (23), 18992-19004. Q1, *Corresponding author*.
- Santos, C. **Lado, J.J**, García-Quismondo, E. Vázquez, I. Hospital, D. Vilatela, J.J. Palma, J.; Anderson, M.A. Interconnected metal oxide CNT fibre hybrid networks for current collector-free asymmetric capacitive deionization. Journal of Materials Chemistry A, (2018) 6, 10898-10908. Q1, *Corresponding author*.
- Santos, C.; **Lado, J.J.**; García-Quismondo, E.; Soria, J.; Palma, J.; Anderson, M.A. Maximizing Volumetric Removal Capacity in Capacitive Deionization by Adjusting Electrode Thickness and Charging Mode. Journal Electrochemical Society (2018) 135, 294-302. Q1.
- Wouters, J.J., Tejedor-Tejedor, M.I., **Lado, J.J.**, Perez-Roa, R., Anderson, M.A. Influence of Metal Oxide Coatings, Carbon Materials and Potentials on Ion Removal in Capacitive Deionization (2018) Journal of The Electrochemical Society 165 (5), E148-E161. Q1.

- **Lado, J.J.**, Pérez-Roa, R.E., Wouters, J.J., Tejedor-Tejedor, M.I., Federspill, C., Ortiz, J.M., Anderson, M.A. Removal of nitrate by asymmetric capacitive deionization. *Separation and Purification Technology*, 2017, 183, 145-152. Q1, *Corresponding author*.
- Zornitta, R.L., García-Mateos, F.J., **Lado, J.J.**, Rodríguez-Mirasol, J., Cordero, T., Hammer, P., Ruotolo, L.A.M. High-performance activated carbon from polyaniline for capacitive deionization. *Carbon* (2017) 123, 318-333. Q1, *Corresponding author*.
- **Lado, J.J.**, Zornitta, R.L., Calvi, F.A., Martins, M., Anderson, M.A., Nogueira, F.G.E., Ruotolo, L.A.M. Enhanced capacitive deionization desalination provided by chemical activation of sugar cane bagasse fly ash electrodes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (2017), 126, 143-153. Q1, *Corresponding author*.
- **Lado, J.J.**, Zornitta, R.L., Calvi, F.A., Tejedor-Tejedor, M.I., Anderson, M.A., Ruotolo, L.A.M. Study of sugar cane bagasse fly ash as electrode material for capacitive deionization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (2016) 120, 389-398. Q1, *Corresponding author*.
- Wouters, J.J., Tejedor-Tejedor, M.I., **Lado, J.J.**, Perez-Roa, R., Anderson, M.A. Influence of metal oxide coatings on the microstructural and electrochemical properties of different carbon materials (2016) *Journal of the Electrochem. Society*, 163 (13), A2733-A2744. Q1.
- **Lado, J.J.**, Pérez-Roa, R.E., Wouters, J.J., Tejedor-Tejedor, M.I., Federspill, C., Anderson, M.A. Continuous cycling of an asymmetric capacitive deionization system: An evaluation of the electrode performance and stability. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, (2015) 3 (4), 2358-2367. Q1, *Corresponding author*.

C.2. Research projects and grants

- **SELECTVALUE (2020-T1/AMB-19799)**. P.I.: Julio J. Lado. Funding entity: Consejería de Educación e Investigación de la Comunidad de Madrid. Programa de atracción de joven talento. Starting date 01/01/2022. Extension: 5 years. Participating entities: IMDEA-Energía. Budget: 321.159 €.
- **SELECTRO: "Selective recovery of critical raw materials from saline water effluents with energy-efficient electrochemical methods," (PID2020-118343RJ-I00)**. P.I.: Julio J. Lado. Funding entity: JIN – Program: Programas Estatales de Generación de Conocimiento y Fortalecimiento Científico y Tecnológico del Sistema de I+D+i y de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad, del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020. Extension: 3 años. Período: 2021-2024. Participating entities: IMDEA-Energía. Budget: 181.500 €.
- **HYSOLCHEM (FETPROACT-EIC-07-2020)**. P.I.: Víctor de la Peña (Coordinator). Funding entity: European Commission - H2020-FETPROACT-EIC-07-2020. Starting date: 01/01/2021, 3 years. End date: 31/12/2023. Participating entities: IMDEA Energía (Coord.), Univ. Rey Juan Carlos, Katholieke Universiteit Leuven, Innova Srl, Amer-Sil SA, Diamond Light Source Limited, Apria Systems SL. Overall amount: 2,762,532.5 € (Total), 801,875 € (IMDEA), 324.380 € (UPEQ). Participation: Researcher.
- **Young Talent Attraction Grant for PhD Junior Researchers (2016-T2/AMB-1310)** P.I.: Julio J. Lado. Funding entity: Consejería de Educación e Investigación de la Comunidad de Madrid. Programa de atracción de joven talento. Starting date 13/02/2017. Extension: 4 years. Participating entities: IMDEA-Energía. Budget: 80.000 €.
- **DC-SOIAS: Capacitive Deionization of Brines Coming from Brackish Water Reverse Osmosis Plants (RTC-2015-3969-5)**. P.I.: Jesús Palma. Funding entity: Ministry of Economy and Competitiveness/Collaboration Challenges 2015. Starting date: 01/09/2015, 3 years. Participating entities: GS-INIMA (Coordinator); PROINGESA; IMDEA Energy Institute. Overall amount: 195.000 €. Participation: Researcher.
- **Science Without Borders Program - Young Talent Attraction Grant**. P.I.: Julio J. Lado. Funding entity: CAPES, Coordination for the Improvement of Higher Education (Brazil). Starting date: 01/08/2014, 2 years. Participating entities: Federal University of Sao Carlos, Sao Paulo (Brazil) Overall amount: 70.000 €.

C.3. Contracts

- **REWAISE: RESilient WATER Innovation for Smart Economy**. P.I.: Enrique García-Quismondo y Julio J. Lado. Funding entity: Private project funded by Aqualia through H2020. Starting date: 01/10/2021. Extension: 1.5 years. Overall amount: 100.000 €.

C.4. Patents

- **Title: Recyclable Electrode**. Inventors/authors: **J. J. Lado**, E. Ventosa, D. Pérez, E. García-Quismondo, J. Palma. Nº of aplicación: EP20382772. Country of inscription: Spain. Date of registration: 31/08/2020. Conferral date: Pending of acceptance. Operating aut.region/region: Europe.

- **Title: Proceso para el Tratamiento de Aguas Procedentes de Lodos Bentoníticos.**
Inventors/authors: A. De Miguel; E. García Calvo; I. De Bustamante; **J. J. Lado**. N° of application: P201430558. Country of inscription: Spain, Community of Madrid. Date of register: 15/04/2014. Conferral date: 16/10/2015. Operating aut.region/region: Spain

C.5 Experience supervising doctoral thesis and/or final year projects

Internship	Bachelor	Master	Predoc
I. Vázquez (2018)	R. Napoli (2017)	S. Pacheco (2022)	J. Miranda (2020)
M. Iñiguez (2018)	C. Landi (2017)	R. Moreno (2022)	K.S.G. C. Oliveira (2021-)
D. Hospital (2017)	F. Calvi (2015)	N. Dermitzakis (2021)	K. Mirehbar (2021-)
M. Soto (2017)		R. Lamela (2020)	A. Fombona (2022-)
M. Martins (2016)		C. Irastorza (2020)	
C. Federspill (2014)		G. García (2020)	
		V. Cartolano (2019)	
		V. Senatore (2018)	
		J. Guachamin (2018)	

C.6 Dissemination Activities

· J.J. Lado has participated in **26 international conferences** (22 of them as oral presentations and 4 of them as posters), 2 of them as invited speaker. From 2017 to 2020 he was a member of the Committee of Dissemination, IMDEA Energy/ Spain. As Responsible of this Committee, Julio J. Lado participated in the organization of dissemination activities such as Science Week (2017-2020), European Night of the Researchers (2017-2020), Madrid for Science (2019) and Women and Girl in Science (2020).

Parte A. DATOS PERSONALES**Fecha del CVA**

12/09/2022

Nombre y apellidos	Jesús Palma del Val		
DNI/NIE/pasaporte	02855892M	Edad	58
Núm. identificación del investigador	Researcher ID	G-6914-2015	
	Author ID	35791418500	
	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, 28935 Móstoles, Madrid		
Teléfono	917371116	Correo electrónico	jesus.palma@imdea.org
Categoría profesional	Investigador Senior	Fecha inicio	11/04/2008
Código UNESCO	330309; 330418		
Palabras clave	Electrochemistry; Environment; Energy Storage; Energy Efficiency		

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

Licenciatura/Grado/Doctorado	Universidad	Año
Executive MBA	IE Business School	2001
Doctor en Química	Universidad Autónoma de Madrid / CSIC	1994
Licenciado en CC. Químicas	Universidad Autónoma de Madrid	1986

A.3. Indicadores generales de calidad de la producción científica (últimos 6 años)

	<u>Ref. Scopus / WoS para IF</u>
Documentos publicados con FI =	59
Documentos en revistas D1 =	45 (75%)
Documentos en revistas Q1 =	54 (90%)
Factor de impacto promedio =	9.560
Citas =	2880
Tesis dirigidas =	3 defendidas + 4 en curso
Trabajos de fin de Master supervisados =	8
Investigadores postdoctorales supervisados =	5

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

Entre 1988 y 1991 realizó su tesis doctoral en el **Instituto de Cerámica y Vidrio** del CSIC. Desde 1991 hasta 2008 trabajó en el Centro de I+D de la empresa de ingeniería **Técnicas Reunidas S.A.**, donde comenzó como Ingeniero de Procesos, luego fue promovido a Director de Proyectos y finalmente a Director del Centro de I+D. En 2008 se incorporó a la **Fundación IMDEA Energía** para poner en marcha la Unidad de Procesos Electroquímicos dedicada a la investigación en tecnologías electroquímicas para almacenamiento de energía y para aplicaciones medioambientales. Bajo su **liderazgo**, la Unidad ha crecido desde 2 hasta 25 personas; se han conseguido más de 100 proyectos de investigación con una financiación superior a 14 millones de Euros; se han publicado más de 190 artículos científicos en revistas indexadas (90% en el primer cuartil) que han recibido más de 6800 citas; se han generado 10 patentes; y defendido 11 tesis doctorales. Los investigadores de la Unidad han recibido 1 contrato ERC-Consolidator, 8 becas Marie Curie, 3 contratos Ramón y Cajal, 3 becas Juan de la Cierva, 4 becas de atracción de talento de la Comunidad de Madrid y 2 becas de la Fundación Iberdrola. A lo largo de su **carrera investigadora** ha participado en más de 70 proyectos de investigación nacionales e internacionales, siendo investigador principal en unos 50. Ha participado en 15 proyectos europeos, actuando en 9 de ellos como responsable de la organización participante. Es coautor de 86 publicaciones en revistas indexadas que han recibido casi 3300 citas (índice h = 29). Se ha **especializado en** investigación aplicada, escalado de dispositivos y procesos desde el laboratorio a planta

piloto. Tiene experiencia en la elaboración de patentes y negociación de acuerdos de licencia. Sus **intereses actuales** incluyen: Desionización electroquímica; Condensadores electroquímicos; Baterías de flujo; Baterías de iones de Litio; Otras baterías primarias y secundarias; Ensayos, modelizado y predicción de la vida útil de baterías y reactores electroquímicos.

Parte C. MÉRITOS MÁS RELEVANTES (ordenados por tipología)

C.1. Publicaciones (selección últimos 6 años)

1. Daniel Perez-Antolin, Cristina Irastorza, Sara Gonzalez, Rebeca Moreno, Enrique García-Quismondo, Jesús Palma, Julio J. Lado, Edgar Ventosa. Regenerative electrochemical ion pumping cell based on semi-solid electrodes for sustainable Li recovery. *Desalination*, 2022, 533, 115764 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.115764>
2. Julio J. Lado, Vincenzo Cartolano, Enrique García-Quismondo, Guzmán García, Ignacio Almonacid, Vincenzo Senatore, Vincenzo Naddeo, Jesús Palma and Marc A. Anderson. Performance Analysis of a Capacitive Deionization Stack for Brackish Water Desalination. *Desalination*, 2021, 501, 114912 <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114912>
3. C. Santos, I.V. Rodriguez, J.J. Lado, M. Vila, E. García-Quismondo, M.A. Anderson, J. Palma, J.J. Vilatela. Low-energy consumption, free-form capacitive deionisation through nanostructured networks. *Carbon*, 2021, 176, 390-399. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.01.148>
4. Jessica M. A. Freire, Julio J. Lado, Enrique García-Quismondo, Gonzalo Castro, Jesús Palma, Adonay R. Loiola, Elisane Longhinotti, and Marc A. Anderson. Strategies to boost capacitive deionization performance of 3D electrodes. *Separation and Purification Technology*, 2021, 273, 118977 <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118977>
5. Daniel Perez-Antolin; Rafael Trócoli; Jesus Palma; Edgar Ventosa. The Injectable Battery. A Conceptually New Strategy in Pursue of a Sustainable and Circular Battery Model. *Journal of Power Sources*, 2020, 480, 228839. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228839>
6. Wang, Y.; Vázquez-Rodríguez, I.; Santos, C.; García-Quismondo, E.; Palma, J.; Anderson, M.A.; Lado, J.J. Graphite felt 3D framework composites as an easy to scale capacitive deionization electrode for brackish water desalination. *Chemical Engineering Journal*, 2020, 392, 123698. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123698>
7. Santos, C.; García-Quismondo, E.; Palma, J.; Anderson, M.A.; Lado, J. Understanding capacitive deionization performance by comparing its electrical response with an electrochemical supercapacitor: Strategies to boost round-trip efficiency. *Electrochimica Acta*, 2020, 330, 135216. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135216>
8. Santos, C., Lado, J.J., García-Quismondo, E., Rodríguez, I.V., Hospital-Benito, D., Palma, J., Anderson, M.A., Vilatela, J.J. Interconnected metal oxide CNT fibre hybrid networks for current collector-free asymmetric capacitive deionization. *Journal of Materials Chemistry A*, 2018, 6, 10898-10908. <https://doi.org/10.1039/C8TA01128A>
9. Garcia-Quismondo E., Santos C., Soria J., Palma J., Anderson M.A. New Operational Modes to Increase Energy Efficiency in Capacitive Deionization Systems. *Environmental Science and Technology*, 2016, 50, 11, 6053–6060 <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05379>
10. Garcia-Quismondo E., Santos C., Soria J., Palma J., Anderson M.A. New Operational Modes to Increase Energy Efficiency in Capacitive Deionization Systems. *Environmental Science and Technology*, 2016, 50, 11, 6053–6060. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b05379>

C.2. Proyectos (selección últimos 6 años)

1. Title/Acronym: NOvel energy storage technologies usable at MilitArY Deployments in forward operating bases / NOMAD. Partners: Equipos Móviles de Campaña ARPA (ES), CEA Liten (FR), Fraunhofer INT (DE), IMDEA Energía (ES), INTA (ES), INTRACOM Defense (GR), IPS (BG), PIPISTREL Vertical Solutions (SI), QuinteQ Energy (NL),

- Skeleton Technologies (EE), Skoon Energy (NL), TECES (SI), THALES Programas de Electronica y Comunicaciones (ES), THALES (FR), TNO (NL), JENOPTIK Power Systems (DE), IFE (NO), EAS Batteries (DE), F4STER (HU). Funding Institution/Program: European Defence Fund / EDF-2021-ENERENV-R-NGES. Funding Period: 2022-2026. IMDEA Energy external funding: 1.031.810. €. Role: Participant
2. Title/Acronym: Energy and green hydrogen / GREEN H2. Partners: CIEMAT, UCM, CEU San Pablo, UPM, UC3M, INTA, IMDEA Energy. Funding Institution/Program: Comunidad de Madrid / Plan de recuperación, transformación y resiliencia. Funding Period: 2022-2024. IMDEA Energy external funding: 2.181.212 €. Role: Participant
 3. Title/Acronym: Multi-Electron Processes for Light Driven Electrodes and Electrolytes in Conversion and Storage of Solar Energy / LIGHT-CAP. Partners: Fondazione Istituto Italiano di Tecnologia (Italy), Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (Switzerland), Technische Universitaet Dresden (Germany), Justus-Liebig-Universitaet Giessen (Germany), Politecnico di Milano (Italy), IMDEA Energy (Spain). Funding Institution/Program: European Commission / H2020-FETPROACT-EIC-07-2020. Funding Period: 2021-2023. IMDEA Energy Institute external funding: 402.190 €. Role: Participant
 4. Title/Acronym: A Hybrid Reactor for Solar CO2 and N2 Conversion Coupled to WasteWater Treatment / HYSOLCHEM. Partners: IMDEA Energy (Spain), Universidad Rey Juan Carlos (Spain), Catholieke Universiteit Leuven (Belgium), Innova Srl (Italy), Amer-Sil SA (Luxembourg), Diamond Light Source Limited (UK), Apria Systems SL (Spain). Funding Institution/Program: European Commission/ H2020-FETPROACT-EIC-07-2020. Funding Period: 2021-2023. IMDEA Energy funding: 801.875 €. Role: PI
 5. Title/Acronym: GHz nanoscale electrical and dielectric measurements of the solid-electrolyte interphase and applications in the battery manufacturing line /NANOBAT. Partners: Keysight Technologies (Coordinador); Austrian Institute of Technology; Centro Ricerche Fiat; EURICE – European Research and Project Office; Federal Institute of Metrology METAS; IMDEA Energy; Johannes Kepler University Linz; Kreisel Electric GmbH & Co KG; Pleione Energy; QWED; Ruhr-Universität Bochum; Technische Universität Braunschweig. Funding Institution/Program: H2020-DT-NMBP-08-2019, Grant agreement No.861962. Period: 2020-2023. IMDEA Energy funding: 190.000 €. Role: PI
 6. Title/Acronym: Hybridization of geothermal energy and flow batteries for heating and cooling of zero-energy tertiary buildings/ GEOBATT. Partners: SACYR (Coordinator); Energy Storage Systems; Polytechnic University of Madrid; Carlos III University of Madrid; IMDEA Energy. Funding Institution/Program: Ministry of Science, Innovation and Universities/ State Program of Research, Development and Innovation Oriented Challenges of the Society. Collaboration Challenges 2017. Period: 2018-2021. IMDEA Energy external funding: 255.476 €. Role: PI
 7. Title/Acronym: Capacitive Deionization of Brines Coming from Brackish Water Reverse Osmosis Plants/ DC-SÓIAS. Partners: GS-INIMA (Coordinator); PROINGESA; IMDEA Energy. Funding Institution/Program: Ministry of Economy and Competitiveness/ State Program of Research, Development and Innovation Oriented Challenges of the Society. Collaboration Challenges 2015. Period: 2015-2018. IMDEA Energy external funding: 162.480 €. Role: PI
 8. Title/Acronym: Innovative Storage for Stationary Applications Based on Aluminum/ ALIENA. Partners: Albufera Energy Storage (Coordinator); ALEASTUR; GFM; ITMA; IMDEA Energy. Funding Institution/Program: Ministry of Economy and Competitiveness/ State Program of Research, Development and Innovation Oriented Challenges of the Society. Collaboration Challenges 2015. Period: 2015-2018. IMDEA Energy external funding: 128.538 €. Role: PI
 9. Title/Acronym: Fundamental properties and application of graphene and other 2D materials/ MAD2D. Partners: ICMM-CSIC (Coordinator); IMDEA Energy; IMDEA Nanoscience; IMDEA Materials; Autonoma University of Madrid. Period: 2014-2018. Funding Institution/Program: Comunidad de Madrid/ Program of R&D activities between research groups in Technology. IMDEA Energy external funding: 140.373 €. Role: PI.

C.3. Contratos, méritos tecnológicos o de transferencia (selección últimos 6 años)

Contratos con empresas:

1. Title/Acronym: Nueva tecnología de lixiviación electroquímica de minerales de Litio / LIXELI. Company: Lithium Iberia (Spain). Period: 2022. Role: PI
2. Title/Acronym: Aplicación de la desionización capacitiva al tratamiento de aguas salobres subterráneas y superficiales / REWAISE. Company: Aqualia FCC (Spain). Period: 2021-2022 Role: Participant
3. Title/Acronym: Prueba de concepto de un electrolizador basado en urea / URELIZER Company: HFC Company (Spain). Period: 2021 Role: PI
4. Title/Acronym: Test specifications for Ni-MH backup pack /NicBacPac. Company: Master Battery (Spain). Period: 2021. Role: PI
5. Title/Acronym: Evaluation of Li Plating in Battery Cells at High C-Rates/ LIPLAT. Company: KREISEL (Austria). Period: 2020. Role: Participant
6. Title/Acronym: Testing of batteries for wireless surveillance devices/ BAMOWI. Company: Securitas Direct (Spain). Period: 2019-2021. Role: PI
7. Title/Acronym: Development of an organic flow battery based on redox pairs for electric vehicles and stationary storage/ BAFO. Companies: E22 and REPSOL (Spain). Period: 2016-2019. Role: PI
8. Title/Acronym: Development of new structural materials for energy harvesting and storage/ DESMAN. Company: BE Aerospace (Germany). Period: 2014-2017. Role: Participant
9. Title/Acronym: Next generation battery testing equipment/ NGBTE. Company: IMV Corporation (Japan). Period: 2014-2016. Role: PI

Patentes licenciadas:

1. Application number: EP21383065, Title: “Supercapacitor for Energy Storage”. Date of application: 24/11/2021. Holders: IMDEA Energy Foundation. Inventors: Navalpotro, P; Palma, J.; Marcilla, R. Licensed to B5Tec.
2. Application number: EP18382971, Title: “Redox flow battery for energy storage”. Date of application: 21/12/2018. Holders: IMDEA Energy Foundation. Inventors: Ventosa, E.; Paez, T.; Palma, J. Licensed to B5Tec.

C.4. Patentes (selección últimos 6 años)

1. Application number: EP20382772, Title: “Recyclable Electrode Cell”. Date of application: 31/08/2020. Holders: IMDEA Energy Foundation. Inventors: Lado, J.; Ventosa, E.; Pérez, D.; García-Quismondo, E.; Palma, J. Solicitud de patente internacional nº PCT/EP2021/073842, que ha recibido el número de publicación WO2022043542 con fecha 03/03/2022
2. Application number: EP20382311 “Redox Flow Battery” Date of application: 17/04/2020. Holders: IMDEA Energy Foundation. Inventors: I. Montes, R. Marcilla, J. Palma, E. Ventosa, M. Vera, M. Sánchez Sanz. Solicitud de patente internacional PCT/EP2021/059865.
3. Application number: EP19382473, Title: “An Alkaline Flow Battery Assembly”. Date of application: 09/06/2019. Holders: Energy Storage Solutions, S.L. Inventors: Ventosa, E.; Perez, D.; García, G.; Palma, J.
4. Application number: P201730828, Title: “Carbon Nanotube Fibers for Capacitive Deionization”. Date of application: 22/06/2017. Holders: IMDEA Materials Foundation, IMDEA Energy Foundation. Inventors: Vilatela, J.J.; Cabana, L.; Santos, C.; Garcia-Quismondo, E.; Palma, J.
5. Application number: PCT/ES2018/070015, Title: “Multifunctional composite Material”. Date of application: 10/01/2017. Holders: IMDEA Materials Foundation, IMDEA Energy Foundation. Inventors: Vilatela, J.J.; Senokos, E.; Marcilla, R.; Palma, J.
6. Application number: P201630327, Title: “Redox Battery with immiscible electrolytes”. Date of application: 21/03/2016. Holders: IMDEA Energy Foundation. Inventors: Navalpotro, P.; Anderson; M.A.; Palma, J.; Marcilla, R.