

**SERVICIO DE
CARACTERIZACIÓN**

Instituto de Ciencia y
Tecnología de Polímeros

TRANSPORTADORES



Modelo A-5
hasta 50 Kgs./h.

Modelo A-10
hasta 100 Kgs./h.



Modelo A-102 hasta 250 Kgs./h.



Modelo A-406 hasta 1.600 Kgs./h.

Transportadores individuales
con turbina monofásica hasta 125 Kgs./h.
y turbina trifásica hasta 2.000 Kgs./h.

ALIMATIC, S.L.

C/. Andorra, 19 B y C
08830 SANT BOI DE LLOBREGAT (Barcelona) SPAIN
Tel. +34 93 652 56 80 - Fax +34 93 652 56 86
e-mail: alimatic@alimatic.com

Monitorización de la actividad antimicrobiana de envases poliméricos activos mediante espectroscopia Raman

Autores: Ignacio Mena-Prado¹, Alexandra Muñoz-Bonilla¹, Adolfo del Campo², Julián J. Reinoso^{2,3}, Javier Menéndez³, Claudia Fuente³, José F. Fernández²

¹Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (ICTP-CSIC)

C/Juan de la Cierva 3, 28006, Madrid

²Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV-CSIC)

C/ Kelsen 5, 28049 Madrid

³ Encapsulae S.L.

C/ Lituania, 10, nave 2 12006 Castellón

imena@ictp.csic.es

sbonilla@ictp.csic.es

adelcampo@icv.csic.es

jjreinoso@icv.csic.es

jmenendez@encapsulae.com

cfuente@encapsulae.com

jfernandez@icv.csic.es

Resumen

El proyecto CHARISMA (Characterization and HARmonization for Industrial Standardisation of advanced MATerials; <https://www.h2020charisma.eu/>) financiado por el programa europeo de investigación e innovación Horizonte 2020 (GA 952921) y coordinado por el CSIC, tiene como objetivo armonizar y estandarizar la espectroscopia Raman para facilitar la caracterización de materiales a lo largo de su ciclo de vida completo, desde el diseño y fabricación pasando por el rendimiento durante su vida útil, hasta su desecho final. El proyecto demostrará la viabilidad de su concepto en tres casos industriales, uno

de ellos abordado por Encapsulae S.L., el cual se centrará en el envasado activo de alimentos con el propósito de mejorar y controlar la seguridad alimentaria. El proyecto CHARISMA contempla el desarrollo de nuevas formulaciones de materiales poliméricos reciclables y/o biodegradables además de micro/nano-cargas con actividad antimicrobiana para el envasado activo de alimentos, de manera que se permita monitorizar su actividad, y así su control sanitario durante todo el proceso: fabricación, almacenamiento, distribución y consumo. Igualmente, se pretende monitorizar el producto hasta su reutilización, reciclaje, compostaje o desecho final.

Palabras Clave: espectroscopia Raman, envase activo, actividad antimicrobiana, sostenibilidad, biopolímeros, reciclable, compostable.

Abstract

The CHARISMA Project (Characterization and HARmonization for Industrial Standardisation of advanced MATerials; <https://www.h2020charisma.eu/>) funded by the European Union's Horizon 2020 research and innova-

tion program (GA 952921) and coordinated by CSIC, aims to harmonise and standardise Raman spectroscopy for characterisation across the life cycle of a material, from product design and manufacture to lifetime performance and end-of-life stage. The project will demonstrate the feasibility of its concept in three industrial cases, one of which is led by Encapsulae S.L. The latter will be focused on active packaging with the purpose of increasing safety and shelf-life. The CHARISMA project will develop new polymeric formulation based on recyclable and/or biodegradable polymers and micro/nano-fillers with antimicrobial activity. The resulting active food packaging allows for monitoring its activity, and thereby acts as a food quality and safety control during the whole life cycle (fabrication, storage, delivery and consumption). Besides, CHARISMA aims to evaluate end-of-life products, the reusability, recyclability, compostability and waste will be assessed.

Keywords: Raman spectroscopy, active packaging, antimicrobial activity, sustainability, biopolymers, recyclable, compostable.

CÁMARAS
HUSILLOS
CÁMARAS Y HUSILLOS DOBLES PARALELOS
CÁMARA BIMETÁLICA
PUNTAS CASQUILLOS BOQUILLAS CULATAS COLUMNAS

Polígono CAN HUMET DE DALT
 Pasaje Pintor Miró, 8D nave 4
 08213 POLINYÀ (Barcelona)

Tel. 937 133 799
 Fax 937 133 791
 husyca@husyca.com
 www.husyca.com

TECNOLOGÍA Y PRECISIÓN
HUSYCA

Introducción

El sector alimentario es un sector altamente conectado a los cambios en la sociedad y se enfrenta a grandes retos en los próximos años. Uno de ellos es el gran aumento de la población, que se estima que podría llegar a los 10 billones de habitantes en 2050 [1]. Por ello, es necesario un mejor aprovechamiento de los recursos de manera sostenible, lo cual lleva implícito otro de los grandes desafíos, reducir la huella ambiental que el sector alimenticio produce en el planeta, no solo en la producción de comida sino también en el envasado que lleva asociado. La globalización ha tenido una gran influencia en este sector, de manera que hoy en día se puede acudir al mercado y encontrar alimentos que provienen de cualquier parte del mundo. Para que estos productos lleguen en buenas condiciones es necesario cuidar diferentes aspectos como el transporte o el envasado, los cuales son dañinos para el medio ambiente. Se estima que 3,3 billones de toneladas métricas de CO₂ equivalente son emitidas a la atmósfera

debido al sector alimentario [2]. En particular, el envasado de alimentos despierta hoy en día una especial preocupación por su impacto ambiental, ya que se emplean mayoritariamente plásticos derivados del petróleo, no degradables y en muchos casos difícilmente reciclables. Sin embargo, el envasado, cuya misión es la protección de la comida, contribuye enormemente a reducir su desperdicio. Se estima que el 33% de la comida producida en el mundo es desperdiciada cada año, lo que se traduce en una gran pérdida económica, así como en una producción de CO₂ innecesaria. De manera que una adecuada gestión del envasado en todos los aspectos es crucial para lograr un desarrollo más sostenible. En la actualidad, la mayoría de los envases utilizados son envases pasivos, es decir, solo protegen del exterior y actúan como barrera a gases. En los últimos años, se vienen desarrollando los que se conocen como envases activos, en los cuales se incorpora un agente o elemento activo cuya función es mejorar las condiciones de los alimentos envasados en cuanto a calidad y salubridad, aumen-

tando así el tiempo de conservación de los mismos. Se espera que pronto supongan una gran parte del volumen de mercado del sector de envasado. Los envases activos suelen contener agentes con capacidad antimicrobiana, antioxidantes, reguladores de humedad o sistemas que actúan sobre la temperatura, entre otros. Especialmente importantes son los envases con agentes antimicrobianos que inhiben o reducen el crecimiento microbiano. Hoy en día, unos 23 millones de personas enferman en Europa cada año por consumir alimentos contaminados con patógenos como *Salmonella spp.* no tifoidea, *Campylobacter jejuni*, Norovirus o *Listeria monocytogenes* [3]. Además de mejorar la seguridad alimentaria, aumentar su vida útil y reducir el desperdicio de los alimentos, el sector del envasado se enfrenta al reto de reducir el impacto ambiental del envase plástico. Actualmente, los materiales más utilizados son derivados del petróleo como el PE (polietileno), el PP (polipropileno), polietileno tereftalato (PET) o el poliestireno (PS); materiales baratos, ligeros y con buenas propiedades mecánicas y de barrera. Sin embargo, en su mayoría son envases multicapa difíciles de reciclar. Los

biopolímeros biodegradables están surgiendo como una alternativa esperanzadora en el sector alimenticio; no obstante presentan precio elevado y sus propiedades todavía están lejos de igualar a la de los plásticos derivados del petróleo, por lo que generalmente proporcionan una menor vida útil del alimento envasado.

Objetivo

Encapsulae S.L., participante del proyecto CHARISMA, tiene como objetivo demostrar y aplicar el concepto desarrollado por CHARISMA de armonizar y estandarizar la espectroscopía Raman para facilitar la caracterización de materiales. Encapsulae S.L. desarrollará envases poliméricos de contacto alimentario reciclables/biodegradables activos con aditivos antimicrobianos que mejoren el control bacteriano y prolonguen la vida útil del alimento. Estos aditivos actuarán, además, como marcadores Raman para monitorizar la conservación y calidad del alimento envasado durante el ciclo de vida del producto, aportando mayor seguridad al consumidor, y contribuyendo a reducir el desperdicio de alimentos (**Figura 1**).



Figura 1. Concepto del proyecto CHARISMA aplicado al envasado de alimentos cuyo objetivo es monitorizar a través de un instrumento Raman portable la conservación y calidad del alimento envasado.

Desarrollo de envase activo

La empresa de base tecnológica Encapsulae S. L. y un equipo de investigadores del ICV-CSIC han desarrollado aditivos funcionales (AS020P y AS030C) para su uso en envases poliméricos activos e inteligentes, principalmente enfocados a la industria cárnica, que permiten un control del crecimiento bacteriano, reduciendo la probabilidad de contaminación y alargando la vida útil de los alimentos.

El aditivo AS020P, comercializado por Encapsulae S.L., está basado en partículas micro/nanométricas de un humectante de hexametafosfato de sodio [4] recogido en la lista de aditivos alimentarios EC 1129/2011. El aditivo requiere una etapa de activación que aumenta significativamente su capacidad de absorción de la humedad. La incorporación del aditivo en el material plástico en porcentajes del 1% en peso mantiene las características organolépticas del alimento y proporciona una superficie de contacto que impide el crecimiento bacteriano y la formación de biofilm en superficie. La eficacia del producto ha sido verificada para los principales patógenos alimentarios, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Salmonella spp* y *Listeria monocytogenes*, con un porcentaje de eliminación de > 99,9%. El aditivo se puede incorporar a las principales matrices poliméricas del sector como PE-LD, PP, PET, PS y PA (poliamidas), mediante las técnicas de procesamiento de polímeros habituales, como extrusión, soplado, compresión, etc.

En el proyecto CHARISMA se está abordando también el empleo de estos aditivos antimicrobianos en matrices de biopolímeros y polímeros biodegradables, para la preparación de envases compostables. Encapsulae S.L., en colaboración con investigadores del ICV-CSIC y del ICTP-CSIC está desarrollando biocomposites de polímeros tales como el poliláctico (PLA), polibutilén adipato-co-tereftalato (PBAT) o policaprolactona (PCL), con el objetivo de lograr propiedades adecuadas para el envasado activo de alimentos. Además de proporcionar propiedades antimicrobianas al envase, el aditivo AS030C funciona como agente acelerador de la biodegradación

de polímeros en condiciones de compostaje mejorando la eficiencia del proceso y llegando a una reducción del residuo plástico del 95% en 90 días [5]. En la **Figura 2** se muestra, a modo de ejemplo, la desintegración de dos muestras poliméricas basadas de una mezcla de PLA y PBAT a lo largo de 90 días sometidas a un proceso de compostaje a 57 °C y condiciones anaeróbicas (bajo la normativa EN 13432). Se aprecia claramente que la muestra con un 2% en peso de aditivo AS030C se degrada desde el momento inicial del ensayo, de forma más rápida y alcanzando pérdidas de peso mayores al cabo de 90 días.

Durante la vida útil del envase, el aditivo no afecta a la degradación del envasado, ni a sus propiedades mecánicas o de barrera. Sin embargo, cuando el envase se somete a un proceso de compostaje, una vez consumido el alimento, el aditivo comienza su actividad acelerando la degradación del material polimérico. El aditivo AS030C genera un déficit de cargas negativas en condiciones de compostaje, generando roturas en las cadenas del polímero que, mediante mecanismos de hidrólisis, acaba degradando el polímero en cadenas mucho más cortas, y finalmente transformándose en dióxido de carbono con la acción de las bacterias del compost.

Caracterización mediante espectroscopia Raman

El desarrollo de estos envases activos antimicrobianos basados tanto en polímeros convencionales (como el PP) como en biopolímeros, permite preservar la calidad del alimento envasado y alargar su vida útil. El proyecto CHARISMA, pretende además mejorar la seguridad alimentaria monitorizando en tiempo real el envase a través de un instrumento Raman portable (Smartphone Raman), que analizará tanto la presencia en el envase de los agentes antimicrobianos, corroborando la actividad del envase, como la presencia o no de bacterias en el interior del envase. De esta manera se proporcionará una herramienta ágil y rápida de evaluación de la salubridad del alimento en todo el proceso, desde el envasado, transporte, almacenaje, distribución y consumo.



Figura 2. Pérdida de peso en función de los días de compostaje de dos muestras poliméricas de PLA/PBAT, una de ellas sin aditivo y otra con aditivo AS030C.

Estos aditivos, basados en hexametafosfato de sodio, además de actuar como agentes antimicrobianos actuarán como marcadores Raman para ser monitorizados mediante un instrumento Raman portátil. El espectro Raman de las partículas de aditivo (su huella dactilar) se podrá correlacionar con su grado de hidratación, su actividad antimicrobiana y la presencia o no de bacterias. En la **Figura 3** se muestra una imagen de un mapeo Raman realizado en un film de PLA y 1% de aditivo AS020P, así como los espectros Raman del PLA y del aditivo. El objetivo de CHARISMA es implementar esta correlación en un sistema Raman armonizado que sea capaz de monitorizar en tiempo real: (i) la fabricación del aditivo y su incorporación a la matriz polimérica del envase; (ii) la salubridad del alimento durante su ciclo de vida, preparación, almacenaje, distribución y consumo.

Por otra parte, CHARISMA pretende monitorizar igualmente (iii) su trazabilidad en el proceso de desecho, reciclaje o compostaje, analizando los espectros Raman de los polímeros empleados. Así, en las formulaciones basadas en polímeros derivados del petróleo, se evaluará su reciclabilidad correlacionando, mediante espectroscopia Raman, propiedades tales como permeabilidad, propiedades mecánicas o transparencia en función de los ciclos de procesado. Aunque el reciclado del envase es una acción imprescindible, es necesario abordar otras estrategias para reducir el impacto ambiental de los plásticos; de hecho, un alto porcentaje de envases plásticos no se puede reciclar o no llegan a los sistemas de reciclaje, acabando parte en la naturaleza o en el mar. Por ello, Encapsulae S.L. apuesta fuertemente por el desarrollo de envases basados en biopolímeros biodegra-

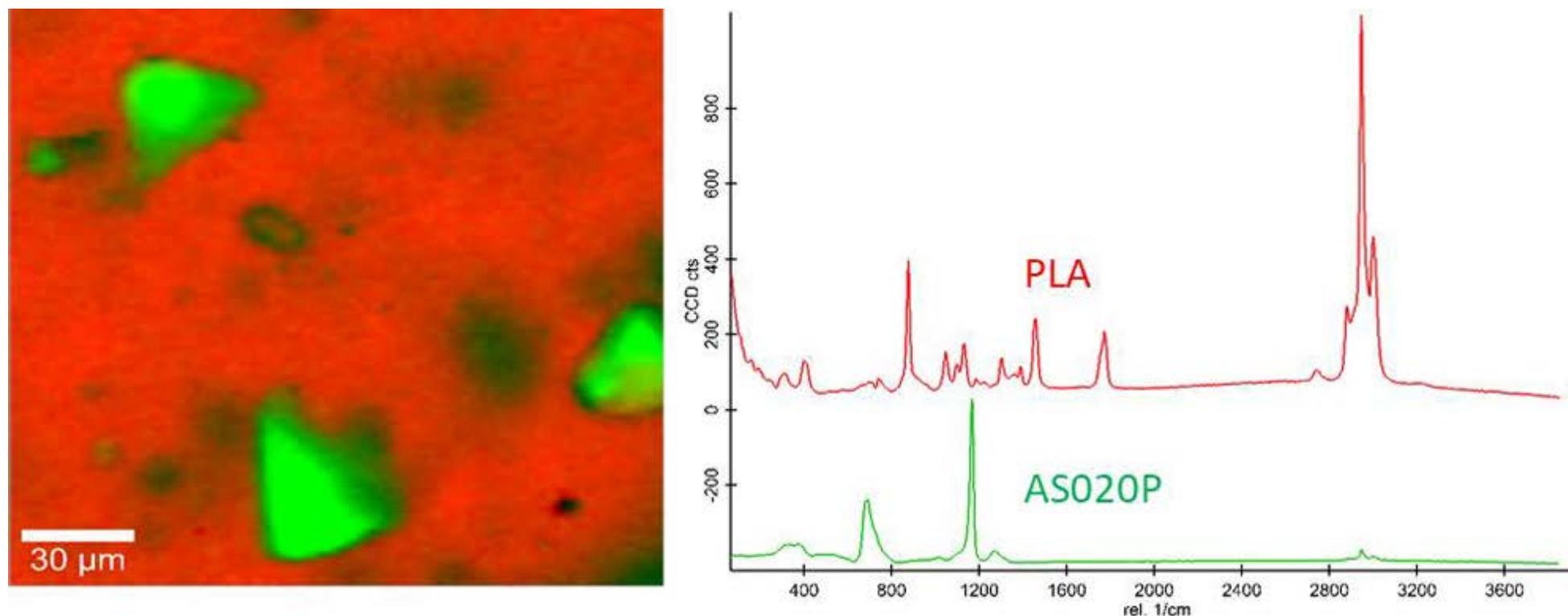


Figura 3. Mapeo Raman en XY de un film de PLA con 1% de aditivo AS020P. Realizado con un objetivo de 20x en una zona de 175 μm x175 μm (100 espectros, tiempo de integración: 0.2 s; 10 mW).

dables o compostables. De esta forma, CHARISMA monitorizará el proceso de compostaje/biodegradación con el objetivo de evaluar el efecto del aditivo en la degradación de los plásticos y la presencia de microplásticos en el entorno.

El proyecto CHARISMA, a través de la caracterización Raman mediante un equipo Smartphone correlacionará directamente los espectros Raman con la seguridad alimentaria monitorizando la presencia del agente antimicrobiano y la presencia de bacterias, además del impacto ambiental del envase, de una manera rápida y sencilla, verificando la señal en webs o apps. De esta manera se pretende reducir las intoxicaciones alimentarias y el desperdicio de alimentos, contribuyendo a la trazabilidad a lo largo de toda la cadena y ofreciendo mejoras en la logística de los pro-

cesos. Por tanto, Encapsulae S.L. pretende desarrollar una nueva generación de envases activos para afrontar los retos a los que se enfrenta el sector del envasado, prolongar la vida útil de los alimentos, mejorando la seguridad alimentaria y reduciendo el desperdicio de alimentos, así como ofrecer soluciones al impacto actual de los plásticos en el medio ambiente.

Agradecimientos

Este Proyecto CHARISMA ha recibido financiación del Programa Europeo de Investigación e Innovación Horizonte 2020 (GA 952921).

Salud (OMS) el 7 de junio de 2019.

4. Antimicrobial Composite Material. J. F. Fernández, J. J. Reinoso, A. Moure, J. J. Menéndez. WO2019/234276A1.
5. Macropartículas de óxido de zinc, método de preparación y uso de las mismas. J. F. Fernández, E. de Lucas, F. Rubio-Marcos. ES 2724825 A1.



Ignacio Mena-Prado

Graduado en Ingeniería de Materiales por la Universidad Politécnica de Madrid

(UPM), donde realizó su Proyecto Fin de Grado en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (ICTP-ICTP). En el curso 2020-2021 realizó el Master en Alta Especialización en Plásticos y Cauchos impartido por la Universidad Internacional Menéndez Pelayo y el ICTP-CSIC. Su Trabajo Fin de Master se centró en el desarrollo de materiales poliméricos biobasados para el envasado de alimentos. Actualmente se encuentra realizando la Tesis doctoral en el ICTP en el marco del Proyecto Europeo CHARISMA (GA 952921) cuyo objetivo es el desarrollo de materiales poliméricos para el envasado así como su monitorización mediante espectroscopía Raman.

Referencias

1. UN, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects. The 2017 Revision: Key Findings and Advance Tables; Working Paper No. EDA/P/WP/248; United Nations: New York, NY, USA, 2017.
2. Wohner, B.; Pauer, E.; Heinrich, V.; Tacker, M.; Sustainability 2019, 11(1), 264; <https://doi.org/10.3390/su11010264>.
3. Informe "La carga de las enfermedades transmitidas por los alimentos en la Región Europea de la OMS" presentado por Organización Mundial de la



Alexandra Muñoz Bonilla

Alexandra es Científica Titular del Instituto de Ciencia y Tecnología

de Polímeros (ICTP-CSIC) y Doctora en Química por la Universidad Complutense de Madrid (2006). Ha realizado varias estancias en la University of Warwick (Reino Unido), en la Université de Bordeaux I (Francia) y en la Eindhoven University of Technology (Holanda) y como contratada Ramón y Cajal, en la Universidad Autónoma de Madrid. Ha publicado más de 115 artículos, 2 patentes, varios libros y ha participado en 34 proyectos de investigación, nacionales, europeos e internacionales. Actualmente su investigación en el ICTP-CSIC se centra principalmente en el desarrollo de sistemas antimicrobianos, y más recientemente en sistemas biobasados y biodegradables sostenibles con actividad antimicrobiana. Forma parte de dos Plataformas Temáticas Interdisciplinares del CSIC, Susplast (Plásticos Sostenibles: hacia una Economía Circular) y la Plataforma Salud Global.



Adolfo del Campo García

Adolfo del Campo obtuvo su licenciatura en Químicas en la

Universidad de Valladolid en 1994. Posteriormente se doctoró en el Departamento de Química Orgánica de la Universidad de Valladolid, cuya Tesis se centró en el desarrollo de polímeros biodegradables para aplicaciones biomédicas. Seguidamente, se incorporó al Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros (ICTP-CSIC) en 1999, donde realizó el Master en Alta Especialización en Plásticos y Cauchos. Durante su periodo en el ICTP-CSIC participó en el desarrollo de varios proyectos de investigación con industrias, tales como ELASTORSA, REPSOL y TECNILATEX. En 2006 se incorporó al Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV-CSIC) donde actualmente trabaja como responsable técnico del microscopio Raman confocal. Además, forma parte del grupo de "Ceramic for Smart Systems". Su investigación se centra en el estudio y caracterización de materiales mediante microscopía Raman confocal acoplada con microscopía de fuerzas atómicas (AFM), principalmente en la caracterización estructural de cerámicas piezoeléctricas libres de plomo, esmaltes cerámicos con propiedades avanzadas, sistemas poliméricos, superficies estructuradas jerárquicamente, así como en el estudio de nanopartículas y nanosistemas como el grafeno.



Julián Jiménez Reinos

Julián es Doctor en Ciencias Químicas y ha desarrollado su carrera

científica en el Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV-CSIC). Forma parte en la spin off ADParticles y actualmente trabaja como técnico de I+D en la empresa Encapsulae S.L. a través del programa Torres Quevedo. Presenta un currículum enfocado a la tecnología mediante la participación en proyectos Europeos H2020 y el desarrollo de proyectos vinculados a la industria, por lo que es coautor de artículos científicos y partícipe de numerosas patentes licenciadas de desarrollo de producto. Su actividad se centraba inicialmente en la funcionalización de superficies en productos cerámicos de forma que fuesen más sostenibles para el medio ambiente (cerámicas catalizadoras de NOx, cerámicas reflejantes de radiación NIR) o presentasen ventajas frente a superficies convencionales (cerámicas antimicrobianas) mediante aplicación de nano y microtecnología. El conocimiento adquirido de dichas tecnologías le permite desarrollar funcionalidades en otros ámbitos como es el de envases poliméricos.



Javier Menéndez

Javier Menéndez, es ingeniero industrial por la Universidad Politécnica de Valencia

y MBA por ESADE, ha ocupado la posición de CEO en empresas industriales desde el año 1997 en el ámbito de minerales arcillosos, nanotecnología con nanoarcillas para packaging, y las más reciente ENCAPSULAE fundada en 2018 dedicada a los envases activos para extender la vida útil de los alimentos y mejorar la seguridad alimentaria. Durante este periodo ha pilotado inversiones industriales por más de 120 millones de euros en industrias de la Comunidad Valenciana.

Menéndez siempre ha tratado de escalar tecnologías disruptivas desde la ciencia a la industria, colaborando durante más de 10 años con institutos del CSIC para el escalado industrial de tecnología de biomateriales, además es coautor de 4 patentes en el área de materiales funcionales. Actualmente está participando en proyectos europeos H2020, en el área de detección precoz de microorganismos en envases y en utilización segura de nanoaditivos. Ha participado activamente en la aprobación de varios aditivos funcionales para envases en la EFSA, en el área de barrera al oxígeno.



Claudia Fuente García

Doctora en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (Julio, 2021)

por la Universidad del País Vasco (UPV-EHU) y el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC). Durante su etapa de doctorado estudió el efecto de diversos factores de cría de ganado vacuno sobre ciertos procesos bioquímicos con el objetivo de detectar situaciones de estrés animal que pudieran dar lugar a carnes defectuosas. Actualmente trabaja en la empresa biotecnológica Encapsulae S.L. (Octubre, 2021), spin-off del CSIC dedicada al desarrollo de aditivos funcionales para envases activos e inteligentes con el fin de aumentar la seguridad alimentaria, alargar la vida útil de los alimentos y acelerar la biodegradación de los envases plásticos. Durante su trayectoria profesional ha participado en dos proyectos I+D+i del Plan Nacional, y actualmente en el Proyecto Europeo CHARISMA destinado a armonizar y estandarizar la espectroscopía Raman para facilitar la caracterización de nanomateriales activos empleados en numerosos sectores como el *food packaging*.



José Francisco Fernández Lozano

José Francisco Fernández es profesor de investigación

en el Instituto de Cerámica y Vidrio (ICV-CSIC), coautor de 35 familias de patentes, de las que una quincena están licenciadas. Ya hay en el mercado productos basados en ellas, como filtros solares en cremas y sistemas para garantizar la autenticidad de un documento, gracias a su enfoque en transferencia de tecnología. Ha dirigido 19 Tesis Doctorales. Investigador principal en 27 proyectos competitivos, 10 proyectos comunitario FP7 o H2020 y 68 proyectos industriales. Es fundador de dos empresas spin-off y ha sido galardonado con numerosos títulos como Fellow Member de la Sociedad Europea de Cerámica, el Épsilon de Oro de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio o el Premio de Física, Innovación y Tecnología 2021 de la RSEF-FBBVA.

Tiene una amplia experiencia en el procesamiento de materiales cerámicos funcionales cuyas propiedades se basan en microestructuras y nanoestructuras complejas. Sus líneas de investigación se han desarrollado en varios aspectos dentro del ámbito de los cerámicos funcionales y las nanotecnologías, tales como: modificación superficial de partículas cerámicas; desarrollo de bordes de grano para cerámicas semiconductoras; sinterización y diseño de piezo-cerámicos sin plomo; efectos de proximidad en la nanoescala; nanodispersión en seco de óxidos metálicos; funcionalización de las cerámicas tradicionales mediante la nanotecnología y propiedades atípicas en cerámicas nanoestructuradas. Su interés se ha centrado en el desarrollo de materiales cerámicos avanzados para sistemas inteligentes.