

UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# **X Congreso I+D+i**

## **Campus d'Alcoi**

### **Creando Sinergias**

5 y 6 de Julio de 2023





UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

**X CONGRESO I+D+i CAMPUS DE ALCOY.  
CREANDO SINERGIAS**

---

**LIBRO DE RESÚMENES**

---

**Escuela Politécnica Superior de Alcoy**

**Alcoy, 5 y 6 de julio de 2023**

Edita: Compobell, S.L.

ISBN: 978-84-126474-7-1

**Nota editorial:** Este libro de resúmenes se ha realizado con las contribuciones de cada autor. Las modificaciones realizadas no han supuesto ningún cambio del contenido científico de las aportaciones.

## **Presidente comité organizador**

---

Jorge Jordán Núñez

## **Comité organizador**

---

Amparo Jordá Vilaplana

Óscar Trull Domínguez

Bàrbara Micó Vicent

Sandra Oltra Crespo

## **Presidente comité científico**

---

Daniel López Rodríguez

## **Comité Científico**

---

Salvador C. Cardona Navarrete

Elena Pérez Bernabeu

Lucía Agud Albesa

Daniel García García

Antonio Molina Picó

María Dolores Samper Madrigal

Luis Jesús Quiles Carillo

Iván Domínguez Candela

Alejandro Lerma Cantó

## **PRÓLOGO**

---

Este libro pretende ser un acercamiento de los diferentes grupos de investigación presentes en la Escuela Politécnica Superior de Alcoi y otros centros para la creación de sinergias entre ellos, con el principal objetivo de aumentar y mejorar los resultados de investigación que se realizan.

Se reúnen las contribuciones orales y posters que se presentaron relacionadas con las investigaciones que se llevan a cabo por los diferentes grupos de investigación participantes en el X Congreso de I+D+i Campus de Alcoi celebrado en la Escuela Politécnica Superior de Alcoi (5 y 6 de julio de 2023).

# ÍNDICE

---

## CONFERENCIA PLENARIA

### **CP1. Determinación de la actividad antioxidante de films de ácido poliláctico y derivados de colofonia obtenidas por extrusión soplado**

*De la Rosa Ramírez, Harrison , Barrino, Federico, Ferri Azor, José Miguel, Samper Madrigal, M<sup>a</sup>Dolores, López-Martínez, Juan.....*3

## COMUNICACIONES ORALES

### **CO1. Caracterización físico-química de la semilla de chía (Salvia hispanica. L) y desarrollo de compuestos activos biobasados para el sector polimérico**

*Domínguez-Candela, Iván , Seguí-Pons, Mauro, C. Cardona, Salva, Lora, Jaime, Fombuena, Vicent .....13*

### **CO2. Propiedades mecánicas de un polímero termoestable bio-basado a partir del aceite de cáñamo (Cannabis Sativa) modificado químicamente**

*Lerma-Canto, Alejandro, Domiguez-Candela, Iván, Ferri, Jose Miguel, García-García, Daniel, Fombuena, Vicent.....17*

### **CO3. Optimización del proceso de extracción Soxhlet del aceite de bellota (Quercus ilex)**

*Mauro Seguí-Pons, Alexis López-Borrell, María Fernanda López, Iván Domínguez-Candela, Vicent Fombuena.....21*

### **CO4. Empleo de tejidos lignocelulósicos y sintéticos para la evaporación de aguas salobres**

*López Borrell, Alexis, Lora García, Jaime, Fombuena Borrás, Vicent, López Pérez, María Fernanda, Cardona Navarrete, Salvador Cayetano .....25*

### **CO5. Aceite epoxidado de Nuez de Brasil como alternativa a los plastificantes de origen petroquímico**

*Pérez-Nakai, Aina, Lerma-Canto, Alejandro, Garcia-Garcia, Daniel, Ferri, Jose Miguel, Fombuena, Vicent.....29*

### **CO6. Estudio de fabricación por inversión de fase y caracterización de una membrana de acetato de celulosa**

*Martínez-Marco, P., Esplugues, S., Grau, J, Hernández, D., Juan, A., Llinares, A., Miranda, M., Muñoz, L., Plasencia, L., Seguí, M., Seis, B., Serrano, P, Unamuno, A., Vargas, T. ....33*

### **CO7. Extracción de compuestos fenólicos procedentes de las lías de vino mediante procesos de nanofiltración**

*Reig Valor, Miguel Jorge, Rozas Martínez, Javier, López Borrell, Alexis, López Pérez, María Fernanda, Cardona Navarrete, Salvador Cayetano.....37*

<b>CO8. Atribución cronológica a paquetes arqueológicos mediante métodos de inteligencia artificial</b>	
Jiménez-Puerto, Joaquín, Trull Domínguez, Óscar.....	41
<b>CO9. ¿Docencia o juego? El desarrollo de soft skills con actividades de gamificación</b>	
Orero-Blat, Maria, Martínez, Aaron, Ribes-Giner, Gabriela.....	45
<b>CO10. Utilización de modelos híbridos nHWT-PSF para la predicción energética eléctrica a corto plazo</b>	
Trull Domínguez, Óscar, García Díaz, Juan Carlos, Peiró Signes, Ángel.....	49
<b>CO11. Expresión de la combinada de una matriz real e invertible de orden 3 como suma de matrices</b>	
<i>Boix, Macarena, Cantó, Begoña , Cantó, Rafael.....</i>	53
<b>CO12. Diversificación en carteras de activos con métodos de paridad de riesgo jerárquico</b>	
Salas-Molina, Francisco, Pla-Santamaria, David, García-Bernabeu, Ana Reig-Mullor, Javier.....	57
<b>CO13. Factores que influyen en la adopción de prácticas sostenibles en empresas industriales de la Comunidad Valenciana</b>	
Valdivieso-Uvidia, Jeanneth Marcela, Expósito-Langa, Manuel, Belso-Martínez, José Antonio.....	61
<b>CO14. La importancia de considerar aspectos realistas para la validación de estrategias de reubicación de ambulancias</b>	
Karpova, Yulia, Villa, Fulgencia, Vallada, Eva, Vecina, Miguel Ángel .....	65
<b>CO15. Reciclado químico de residuos textiles de poliéster</b>	
Pellicer, Tíbet, Gaona, Aidé Costa, David.....	69
<b>CO16. Influencia del composrt en el proceso de biodegradabilidad de textiles</b>	
Sánchez-Martínez, Ainhoa, Belda-Anaya, Raquel, Bou-Belda, Eva, Gisbert-Payá, Jaime.....	73
<b>CO17. CircuitexVR: la realidad virtual como método educativo innovador</b>	
<i>Carbonell-Gisbert Rafael Jorge, Díaz-García, Pablo, Montava-Seguí, Ignacio, Belda-Anaya, Raquel.....</i>	77
<b>CO18. Proyecto REWAFT – Una herramienta online para la reducción de la huella hídrica en el sector textil</b>	
Mínguez-García, David, Díaz-García, Pablo, Bou-Belda, Eva, Belda-Anaya, Raquel.....	81
<b>CO19. Desarrollo de NF de PVA insolubles en H<sub>2</sub>O</b>	
<i>López-Ricart, María, Mínguez-García, David , Bou-Belda, Eva, Díaz-García, Pablo.....</i>	85

<b>CO20. Diseño e implementación de una Base de Datos que permite evaluar distintos algoritmos de asignación de recursos en pacientes oncológicos</b>	
A. Molina-Picó, S. Oltra-Crespo, P. Miró-Martínez, X. A. Martín-Solano.....	89
<b>CO21. Mejora de la hidrofiliidad de tejidos de poliéster y poliamida mediante proteasas</b>	
Belda-Anaya, Raquel, Martínez-Raudales, Heidy Yasmin El-Bazali, Salima, Montava Seguí, Ignacio.....	93
<b>CO22. Influencia de la humedad de los sustratos colectores en el electrohilado</b>	
Mínguez-García, David, Montava, Ignacio, Gisbert-Payá, Jaime, Díaz-García, Pablo.....	97
<b>CO23. Evolución de la caracterización de las propiedades tribológicas de polimeros técnicos</b>	
García Carrasco, Sergio, Peydró Rasero, Miguel Ángel, Eixerés Tomás, Beatriz, Montava-Jordà, Sergi, Crespo Amoros, Jose Enrique.....	101
<b>CO24. Medida de la aceleración de la gravedad “g” con dos bobinas mediante la ley de Faraday</b>	
Ortuño-Molina, Santiago, Muñoz-Pérez, Francisco M., Castro-Palacio, Juan C., Monsoriu, Juan A.....	105
<b>CO25. Towards improving human-computer interaction for people with speech impairment</b>	
Ferri-Molla, Isabel, Linares-Pellicer, Jordi, Izquierdo-Domenech, Juan.....	109
<b>CO26. Optimización de la concentración de azul de metileno para la tinción de algodón</b>	
Martínez-González, Inés, Montava, Ignacio, Gisbet-Payá, Jaime, Bonet-Aracil, Marilés.....	113
<b>CO27. Láseres Poliméricos Delgados Basados En Nanografenos</b>	
Dijkstra-Martín, Diego, Farrando-Pérez, Alex, Díaz-García, María.....	117
<b>CO28. ¿Debe la inteligencia artificial ser un complemento para las ciencias experimentales?, caso particular de la ciencia de materiales</b>	
Llorca Alcón, Manuel, Garcia Sanoguera, David, Fenollar Gimeno, Octavio, Cascales Espejo, Antonio.....	121
<b>CO29. Revisión de las aplicaciones actuales de la Policetona tras su recomercialización y desafíos actuales para su crecimiento</b>	
Martínez Iborra, Juan Enrique, Eixerés Tomás, Beatriz, Sánchez Caballero, Samuel, Sellés Cantó, Miguel Ángel, Llidó Barragán, Alexandra .....	125
<b>CO30. Estudio del efecto en la sensibilidad para discriminar colores del COVID y la exposición a pantallas</b>	
Jordán Núñez, Jorge, Moncho Santonja, María, López Rodríguez, Daniel, Micó Vicent, Bàrbara, Peris Fajarnes, Guillermo.....	129

**CO31. Evaluación de agentes plastificantes derivados de fuentes naturales como modificadores en las características mecánicas de formulaciones de ácido poliláctico (PLA)**

Tejada-Oliveros, R., Gazquez-Navarro, J. J., Gomez-Caturla, J., Ivorra-Martinez, J., Montanes, N.....133

**CO32. Mejora de las propiedades dúctiles del PLA mediante plastificantes ecológicos de la familia de los tartratos y de los tocoferoles**

JJ. Gazquez-Navarro, V. Moreno, R. Balart, J. Ivorra-Martinez, N. Montanes.....137

**CO33. El Camino Hacia un Urbanismo y Diseño Urbano Preparado para el 2030: Descubriendo el Proyecto Europeo UP2030**

Tsertsvadze, Verónika, Ammouriova, Majsá, Soriano, Raquel, Serrano, Julio César, Pérez-Bernabeu, Elena .....141

**CO34. Revisión de la aplicación del método de mínimos cuadrados parciales para el estudio de la eco-innovación**

Díez-Martínez, Inés, Peiró-Signes, Ángel.....145

**CO35. Estudio comparativo de las concesiones económicas realizadas por la Generalitat Valenciana para las asociaciones sin ánimo de lucro durante el año 2022**

Blanes Nadal, Carolina R (1).....149

**CO36. Heurísticas para la resolución de un problema de secuenciación de movimientos de la grúa de un patio de contenedores en una terminal portuaria**

Villa, Fulgencia, Hongtao, Wang, Vallada, Eva, Ruiz, Rubén.....153

**CO37. Maximizar una función Multi-objetivo en un Problema de Orientación en Equipo**

Sandra Oltra Crespo, Lucía Agud Albesa, Neus, Garrido Saez Almodena Llorens Payá, Angel A. Juan .....157

**CO38. Percepción de la gamificación en alumnos de nuevo ingreso del grado de ingeniería eléctrica en la asignatura “Máquinas y mecanismos”**

Montava-Jordà, Sergio; Sánchez Caballero, Samuel; Sellés Cantó, Miguel Ángel Parres García, Francisco José; Peydró Rasero, Miguel Ángel.....161

**CO39. Mejora de propiedades mecánicas dúctiles de ácido poliláctico con la incorporación de un éster del ácido maleico**

Esplugues, S, Garcia-Carrasco, S, Lazaro-Hernandez, C, Martinez-Marco, P, Saz-Ulibarrena, D.....165

**CO40. Transporte sanitario no urgente: un problema dial-a-ride**

Giménez-Palacios, Iván, Vallada, Eva, Belenguer, José Manuel, Villa, Fulgencia .....169

**CO41. Aspectos básicos de diseño digital de interiores empleados en la Realidad Virtual y su adaptación al Metaverso. CASO Biomimetic**

Jover-Peris, Vicente, Sempere-Ripoll, Silvia, Ferrándiz-Bou, Santiago .....173

<b>CO42. Propuesta de un conjunto de indicadores clave de rendimiento para evaluar la movilidad sostenible en Ciudades Inteligentes. Aplicación a un caso práctico</b> Soriano-González, Raquel, Perez-Bernabeu, Elena, Carracedo, Patricia, Juan, Ángel .....	177
<b>CO43. Láseres plásticos: optimización del medio activo y de su uso como sensor utilizando un material orgánico</b> Farrando Pérez, Alex, Dijkstra Martín, Diego, Díaz García, María Ángeles .....	301
<b>CO44. Revolucionando la Realidad Extendida centrada en lo Social y Humano: Descubriendo el Proyecto Europeo SUN</b> Martín, Xavier A., Li, Yuda, Pérez, Elena, Juan, Ángel A. ....	305
<b>CO45. Propuesta inicial de variables caracterizadoras de desempeño en innovación y cocreación</b> Gómez Palacios, César, Peiró-Signes, Ángel, Trull Domínguez, Óscar .....	309
<b>CO46. La industria 4.0 en economías emergentes desde la perspectiva del <i>management</i>: revisión de la literatura y definición de líneas futuras de investigación</b> Maldonado-Gómez, Gabriel, Tomás-Miquel, José-Vicente .....	313

## COMUNICACIONES EN POSTER

- P1. Propiedades Acústicas de Hojas de Naranja Trituradas con Aglutinante Natural**  
Juliá Sanchis, Ernesto, Montava Belda, Isaac, Segura Alcaraz, Jorge,  
Gadea Borrell, José María.....183
- P2. Estudio bioindicativo de la aclimatación de un fango activado de EDARU a la producción de PHA mediante aguas sintéticas de ácidos grasos volátiles**  
Rozas Martínez, Javier, Reig Valor, Miguel Jorge, López Borrell, Alexis López Pérez,  
María Fernanda, Fombuena Borrás, Vicent.....187
- P3. Desarrollo de materiales compuestos sostenibles de polietileno de alta densidad reciclado y cáscaras de granos de cacao**  
Sempere, Jaume, Daniel Latorre, Harrison de la Rosa-Ramírez,  
M<sup>a</sup> Dolores Samper.....191
- P4. Sistema de ciclo cerrado para reutilizar agua de la industria textil, y rutas para valorizar fragmentos fibrosos dispersos en el agua**  
Calvo, Óscar, Cappelli, Luca, Albert, Vicente, Puchol, Victoria,  
Pizarro, Manuel.....195
- P5. Nuevos recubrimientos para diferentes sectores industriales: soluciones con PFAS vs soluciones PFAS-free para textiles**  
Calvo, Óscar, Pérez, Juan Jesús, Sirvent, Eliana, Seif, Johannes P.,  
del Real Torres, Alejandro(2).....199
- P6. Realidad Aumentada como herramienta para la evaluación de la memoria a corto plazo**  
*Ponce, David, Juan, M.Carmen*.....203
- P7. MY-FI Reinventando una industria textil inteligente, circular y competitiva con microfibras avanzadas**  
Franco, Esther, Ortiz, M<sup>a</sup> del Mar.....207
- P8. PROYECTO AGROMATTER. Establecimiento de una RED CERVERA para el desarrollo de materiales técnicos altamente sostenibles derivados de subproductos o residuos de la industria agrícola y de las operaciones de conservación de espacios naturales**  
Sanz Buades, Victoria, Blanquer Pérez, Josep, Guillem Morales, Cristina, Fages Santana, Eduardo, Blanes Company, Maria.....211
- P9. BioHDPE aditivado con harina de cáscara de almendra**  
Tovar-Alarcón, Jose Antonio, Llidó-Barragán, Alexandra, Pérez-Ponce, Laura,  
Alapont-Bosch, Nadine.....215
- P10. Uso de herramientas de flujo dinámico computacional de libre acceso, como soporte para la simulación de procesado de materiales**  
*Sempere Torregrosa, Jaume, De la Rosa Ramírez, Harrison, Samper Madrigal, M<sup>a</sup> Dolores, López Martínez, Juan, Ferrándiz Bou, Santiago*.....219

<b>P11. Procedimiento de electrohilado para la fabricación de fibras nanométricas</b> <i>Gómez-Tejedor, José Antonio, Martín-Cabezuelo, Rubén, Mares-Bou, Sofía, Serrano, María-Antonia</i> .....	223
<b>P12. Alternativa sostenible y biodegradable: Blend de PLA y TPS</b> <i>Unamuno-Garay, Aritz, Juan-Polo, Andrea, Muñoz, Lucía, Cascales, Antonio, Seguí-Pons, Mauro</i> .....	227
<b>P13. La evolución de los polímeros de altas prestaciones: avances y perspectivas</b> <i>Eixerés Tomás, Beatriz, Peydró Rasero, Miguel Ángel, De La Calle Salas, Alejandro, García Carrasco, Sergio, Sánchez-Caballero, Samuel</i> .....	231
<b>P14. Avances y estado de arte del Polisulfuro de Fenileno (PPS): Innovaciones en materiales de altas prestaciones</b> <i>Miranda, M., Hernández, D., Seis, B. Serrano, P. Vargas, T</i> .....	235
<b>P15. Caracterización de mezclas binarias de Ácido Poliláctico con Bio-polietileno de alta densidad</b> <i>Franco, Esther, Gutierrez, Óscar, Ortiz, M<sup>a</sup> del Mar</i> .....	239
<b>P16. Modificación de biopolímero de base poliácido láctico incorporando nanopartículas de restos vegetales</b> <i>Sempere, Jaume, Samper, M<sup>a</sup> Dolores, Arrieta, Marina P</i> .....	243
<b>P17. Estudio de la capacidad de refrigeración del cuerpo humano de un chaleco con PCM's</b> <i>M. Martínez-Albert, M.C. García-Solbes, J. Gisbert-Payá, E. Bou-Belda</i> .....	247
<b>P18. Aplicación de CBL a la toma de decisiones. Simulación de una factoría de envasado de cerveza</b> <i>Trull Domínguez, Òscar, Peiró Signes, Ángel, Gómez Palacios, César</i> .....	251
<b>P19. Estado del arte de la tribología de la Policetona</b> <i>Martínez Iborra, Juan Enrique, Sánchez Caballero, Samuel, De La Calle Salas, Alejandro, Eixerés Tomás, Beatriz, Crespo Amorós, Jose Enrique</i> .....	255
<b>P20. Análisis de rotura en banda modular industrial</b> <i>Eixerés Tomás, Beatriz, Montava-Jordà, Sergi, Martínez Iborra, Juan Enrique, García Carrasco, Sergio, Sellés Cantó, Miguel Ángel</i> .....	259
<b>P21. Desorción de colorante disperso en nanoarcilla hidrotalcita</b> <i>López-Rodríguez, Daniel, Jordán-Núñez, Jorge, Micó-Vicent, Bàrbara, Bou-Belda, Eva</i> .....	263
<b>P22. Optimización de ficocianina en nanoarcillas de estructura tubular y laminar</b> <i>Micó-Vicent, Bàrbara, López-Rodríguez, Daniel, Jordán-Núñez, Jorge, Peris-Fajarnes, Guillermo</i> .....	267

<b>P23. Estudio preliminar de la adsorción de antocianina en nanoarcillas de estructura tubular y laminar</b> <i>Micó-Vicent, Bàrbara; Daniel López-Rodríguez; Jordán-Núñez, Jorge; Amparo Jordá Vilaplana.....</i>	271
<b>P24. Enfoques para la modificación de fibra de lana para refuerzo de ácido poliláctico (PLA) y la influencia en las propiedades del material</b> <i>Pawlak, Franciszek, Pavón, Cristina, Aldas, Miguel, López-Martínez, Juan.....</i>	275
<b>P25. Estudio preliminar del aprovechamiento de fibras vegetales para materiales absorbentes acústicos</b> <i>Llidó-Barragán, Alexandra, Crespo-Amorós, José Enrique, Martínez-Iborra, Juan Enrique, De la Calle-Salas, Alejandro, García-Carrasco, Sergio .....</i>	279
<b>P26. Influencia del porcentaje de relleno en las propiedades físico-mecánicas del TPLA en impresión 3D</b> <i>De La Calle Salas, Alejandro, Parres García, Francisco José, García Carrasco, Sergio, Peydró Rasero, Miguel Ángel, Llidó Barragán, Alexandra.....</i>	283
<b>P27. Estudio del potencial uso de poliestireno reciclado para su aplicación en envases de alimentos: circularidad y marco normativo</b> <i>Sepúlveda, Javiera, Lascano, Diego, Agüero, Ángel, Sánchez, Marcos, Moreno, José Luis, Arrieta, Marina P., Balart, Rafael, Rivas, Ana.....</i>	287
<b>P28. Aplicación de membranas electrohiladas coaxiales para la liberación controlada de fármacos</b> <i>Martín-Cabezuelo, Rubén, Sofía Mares-Bou, Serrano, María-Antonia, Gómez-Tejedor, José Antonio.....</i>	291
<b>P29. Comportamiento térmico de biocomposites basados en PLA reprocesado, plastificado y reforzados con celulosa bacteriana</b> <i>Agüero, Ángel, Lascano, Diego, Sepúlveda, Javiera, Arrieta, Marina P.....</i>	295

---

## **CONFERENCIA PLENARIA**

---



## Determinación de la actividad antioxidante de films de ácido poliláctico y derivados de colofonia obtenidas por extrusión soplado

De la Rosa Ramírez, Harrison <sup>(1)\*</sup>, Barrino, Federico <sup>(2)</sup>, Ferri Azor, José Miguel <sup>(1)</sup>, Samper Madrigal, M<sup>a</sup> Dolores <sup>(1)</sup>, López-Martínez, Juan <sup>(1)</sup>

(1) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales (DIMM), Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n. 03801, Alcoy (Alicante), [hardela@epsa.upv.es](mailto:hardela@epsa.upv.es); [joferaz@upvnet.upv.es](mailto:joferaz@upvnet.upv.es); [masammad@upvnet.upv.es](mailto:masammad@upvnet.upv.es); [jlopezm@mcm.upv.es](mailto:jlopezm@mcm.upv.es).

(2) Departamento de Medicina Experimental, Universidad de Campania "Luigi Vanvitelli", Via L. De Crecchio 7, 80138 Nápoles, Italia.

### RESUMEN

En el presente trabajo se han fabricado films de PLA aditivados con derivados de colofonia, para evaluar su actividad antioxidante y su efecto sobre las propiedades barrera. Además, realizo la incorporación de oligómeros de ácido láctico (OLA) con el objetivo de dotar a las formulaciones basadas en PLA de mayor ductilidad y mejorar su procesabilidad. Con siguiendo así, de una forma optimizada, nuevos materiales de conservación de alimentos para el sector del envase y embalaje. Las formulaciones fueron obtenidas mediante mezcla física por extrusión, y posteriormente, los films se obtuvieron mediante extrusión soplado.

**Palabras clave:** Derivados de colofonia, actividad antioxidante, PLA, Ácido Poliláctico.

### INTRODUCCIÓN

El impacto medioambiental causado por la excesiva cantidad de materiales derivados del petróleo promueve la investigación y los esfuerzos para desarrollar nuevos materiales de envasado biodegradables más respetuosas con el medio ambiente [1]. En concreto, para los productos destinados al envase y embalaje de alimentos existen materiales multicapas funcionales (no degradables) o films biodegradables. Estos últimos son un vector prometedor a tener en cuenta para la conservación de alimentos, debido a sus excelentes propiedades barrera [2] y menor impacto en el medio ambiente. Los films biodegradables pueden actuar como envase con protección barrera contra la humedad y los gases y, al mismo tiempo, pueden preservar el color, la textura y la humedad del producto cuando es aplicado al alimento en forma de recubrimiento o película. Actualmente, entre los materiales utilizados como recubrimientos se encuentran los polisacáridos (quitina, almidón, derivados de la celulosa, gomas), las proteínas (soja, leche, gelatina, zeína de maíz, gluten de trigo) y lípidos (aceites, ceras, resinas) [3]. Sin embargo, los films biodegradables fabricados a escala industrial son principalmente de almidón, polivinil alcohol-PVA, derivados de celulosa y ácido poliláctico-PLA. El PLA es uno de los polímeros más atractivos y prometedores para aplicaciones en agricultura y como material de envasado debido a su rápida biodegradabilidad en condiciones de compostaje, abundancia, excelentes características barrera, buenas propiedades mecánicas, transparencia y por su carácter renovable [4]. No obstante, a las matrices poliméricas se le dota de propiedades antioxidantes para poder ofrecer mayor efectividad a la hora de conservar los alimentos.

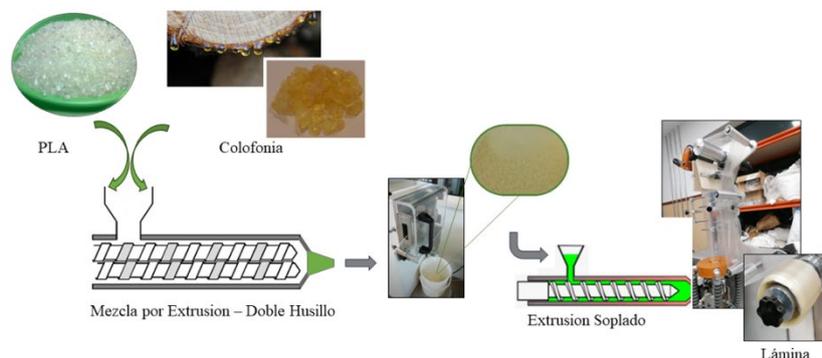
Las reacciones oxidativas, el crecimiento microbiano y el metabolismo son los principales factores que conducen a la pérdida de calidad y al deterioro de los alimentos. El deterioro de los alimentos por procesos oxidativos se produce cuando los alimentos se exponen al aire, al calor o a la luz, produciendo radicales libres que dañan las proteínas, lípidos y vitaminas provocando una disminución de su valor nutricional, así como generación de olores y sabores desagradables [5]. Para solucionar este problema la industria alimentaria incorpora antioxidantes sintéticos debido a su estabilidad, disponibilidad y bajo coste [6]. La tendencia actual, promovida por una demanda de productos alimenticios más sanos y seguros, está basada en la incorporación de sustancias naturales con propiedades antioxidantes a matrices biodegradables. Los extractos fenólicos obtenidos a partir de residuos o subproductos agroalimentarios representan una fuente interesante para su adquisición. Sin embargo, sin una correcta gestión de residuos que sea respetuosa con el medio ambiente, no sería posible la producción de materiales de valor añadido y, por tanto, no se impulsaría la bioeconomía circular. En diversos estudios se han reportado el análisis para obtener extractos vegetales a partir de residuos agroalimentarios con propiedades bioactivas, tales como subproductos vinícolas [7][8], estigma de azafrán [9], cascarilla de arroz y café [10], entre otros. Otra sustancia de la cual no existen demasiados estudios como agente antioxidante es la colofonia, siendo este aditivo un producto natural de la resina de pino, una fuente renovable sometida a una excelente gestión ambiental. Por tanto, en el presente trabajo se pretende fabricar films de PLA aditivados con derivados de colofonia, en concreto de un glicerol ester de colofonia (GE88) y un derivado de colofonia modificado con ácido fumárico (UP33) para evaluar su actividad antioxidante y su efecto sobre las propiedades barrera. Además, se pretende plastificar dichas formulaciones mediante la incorporación de oligómeros de ácido láctico (OLA) con el objetivo de dotar a las formulaciones basadas en PLA de mayor ductilidad y mejor procesabilidad para conseguir, de una forma optimizada, nuevos materiales de conservación de los alimentos para el sector del envase y embalaje.

## MÉTODOS EXPERIMENTALES

### Materiales y preparación de muestras

Una matriz polimérica biodegradable de ácido poliláctico (PLA) Purapol LX-175, obtenida de Corbion Purac (Amsterdam, Netherlands) fue utilizada en las formulaciones de PLA-Derivado de colofonia. Este grado de PLA contiene un 4% de D-isómero (considerado un PLA de bajo porcentaje de cristalización,  $X_c$ ), su índice de fluidez (MFI) está entre los 3 y 5 g/10 min (190 °C, 2,16 kg) y posee una densidad de 1,24 g cm<sup>-3</sup>. Como agentes modificadores se utilizaron dos derivados de colofonia: un glicerol ester de colofonia (GE88) y un derivado de colofonia modificado con ácido fumárico (UP33) suministrados por United Resins—Produção de Resinas S.A. (Figueira da Foz, Portugal). Además, se utilizó un oligómero de ácido láctico (OLA) obtenido de Condensia Química SA, España. Las formulaciones de PLA-Derivado de Colofonia (Tabla. 1) se prepararon mediante mezclado físico en una extrusora de doble husillo co-rotante de Dupra, S.L. (Alicante, España) con un perfil de temperatura de 60°, 145°, 150°, 155° y 155°, a una velocidad de husillo de 20 rpm. Antes del procesado, los materiales fueron almacenado en un horno M-DE-O de Industrial-Marsé (Barcelona, España) durante 24 horas a 40 °C para reducir la humedad retenida en los materiales. Posteriormente, los materiales extruidos con los diferentes derivados de colofonia se procesaron en una micro extrusora Microex Blown de Eurotech Extrusion Machinery Srl (Tradete, Italia) para obtener los films. El perfil de temperatura programado desde la tolva de alimentación hasta la boquilla de salida del material fue de 115°, 150°, 155° y 150° C,

con una velocidad de tornillo de 40 rpm, presión de soplado al 60% y velocidad de calandria 3 m·min<sup>-1</sup>. En la Figura. 1 se muestra la representación esquemática para la obtención de los films.



**Figura. 1.** Representación esquemática de la obtención de los films de PLA y PLA-Derivados de colofonia, mediante extrusión soplado.

**Tabla 1.** Etiqueta y composición de las formulaciones de PLA/derivados de colofonia.

Mezclas	Contenidos derivados de colofonia (phr)	Oligómero de ácido láctico (OLA) (phr)
PLA	-	-
PLA/UP33	5	-
PLA/GE88	5	-
PLA/GE88/OLA	5	5

## Ensayos de Caracterización

En este trabajo se analizan las principales transiciones térmicas, propiedades barrera y antioxidante de las formulaciones de PLA-Derivados de colofonia. Las transiciones térmicas fueron determinados mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), programando tres ciclos dinámicos: (i) calentamiento inicial de 30°C a 190°C, (ii) enfriamiento de 190°C a -50°C y (iii) calentamiento de -50°C a 340°C, con una rampa de calentamiento-enfriamiento de 10 °C min<sup>-1</sup> en atmósfera de nitrógeno (N<sub>2</sub>), mediante un equipo Mettler-Toledo 821 (Schwerzenbach, Suiza). El grado de cristalinidad ( $X_c$ ) de las muestras se calculó utilizando la ecuación 1:

$$X_c = \left[ \frac{\Delta H_m - \Delta H_{cc}}{\Delta H_m^0 \cdot (1 - w)} \right] \times 100 \quad (1)$$

Donde  $\Delta H_m$  es la entalpía de fusión (Jg<sup>-1</sup>),  $\Delta H_{cc}$  es la entalpía de cristalización en frío (Jg<sup>-1</sup>),  $\Delta H_m^0$  representa la entalpía de fusión teórica de un PLA completamente cristalino, por ejemplo 93,0 (Jg<sup>-1</sup>) [11] y (1-w) corresponden a la fracción en peso de PLA en las muestras. Como las formulaciones se prepararon en partes por cien (phr), la cantidad de PLA se normalizó a la fracción de peso correspondiente para cada formulación. La tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) se determinó mediante el método de copa gravimétrica, según la norma ISO 2528. Los films delgados (30 ± 5 μm) obtenidas por extrusión soplado fueron utilizadas para este ensayo. 2 g de gel de sílice (previamente activada a 200 °C durante 24h) se colocaron en las copas de permeabilidad (10 cm<sup>2</sup>) y se sellaron con las muestras a ensayar. Posteriormente, cada

copa se pesó para registrar la masa inicial ( $m_0$ ) y se introdujeron en un cámara de climatización con regulación de humedad y temperatura HPP-110eco de MEMMERT (Schwabach, Alemania) a 23 °C con humedad relativa de 90 %. Se prepararon tres muestras por cada formulación de PLA/Derivados de colofonia. Las copas de permeabilidad fueron pesadas cada una hora durante 7 h, utilizando una balanza analítica AG-245 de Mettler Toledo Inc. (Schwerzenbach, Switzerland) con precisión de  $\pm 0,1$  mg. La tasa de transmisión de vapor de agua (WVTR) ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot 24\text{h}$ ) fue calculada utilizando la ecuación 2. Posteriormente, los valores de WVTR fueron normalizados a films de 100  $\mu\text{m}$  de espesor (multiplicando los valores de WVTR por el espesor de cada film y dividiendo entre 100) [12].

$$WVTR = \frac{S}{A} \cdot 24 \quad (2)$$

Donde S es la pendiente calculada a partir de la cantidad de vapor de agua que pasa a través del film por unidad de tiempo ( $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ ) y A es el área del film expuesto a condiciones de permeabilidad expresada en  $\text{m}^2$ . La actividad antioxidante de los films de PLA/Derivados de colofonia fue monitoreada utilizando 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) como compuesto para captación de radicales libres, siguiendo la metodología reportada por Freitas et al. [13], con ligeras modificaciones debido a la consistencia de los films. Específicamente, la actividad de captación de radicales se determinó colocando 6 mg de cada muestra en 1,5 mL de solución etanólica de DPPH 0,01 mM, incubada durante 30 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, la absorbancia de la solución se midió con un espectrofotómetro UV a 517 nm. La captación de radicales se calculó mediante la ecuación 3:

$$\text{Captura radicales libres \%} = \frac{A_c - A_s}{A_c} * 100 \quad (3)$$

Donde  $A_c$  es la absorbancia de control y  $A_s$  es la absorbancia de la muestra.

## RESULTADOS

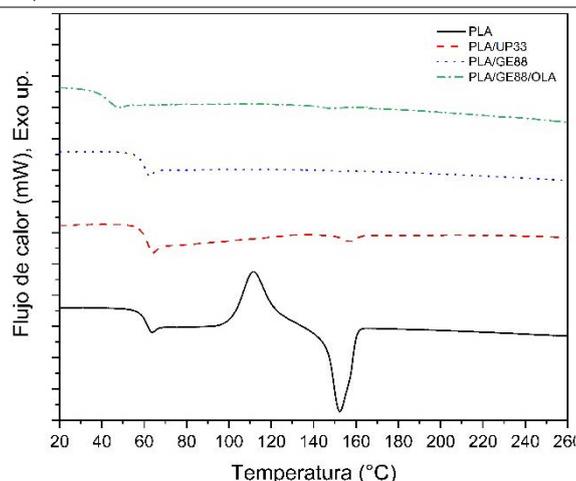
### Caracterización térmica

Las transiciones térmicas generadas por el intercambio de calor entre las formulaciones de PLA/Derivados de colofonia y el PLA virgen, fueron evaluadas por calorimetría diferencial de barrido. En la Figura. 2, se muestran las curvas calorimétricas, de cada formulación, en función de la temperatura, y las cuales se utilizaron para determinar los principales parámetros de transición térmica, tales como la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), temperatura de cristalización en frío ( $T_{cc}$ ), entalpia de cristalización ( $\Delta H_{cc}$ ), temperatura de fusión ( $T_m$ ), entalpia de fusión ( $\Delta H_m$ ), y grado de cristalinidad según corresponda. Estos parámetros se muestran en la Tabla. 2. Para el PLA virgen, los valores de las principales transiciones térmicas obtenidos fueron similares a los reportados en un estudio previo por Jubinville et al. [14], los cuales son propios de este grado de PLA (baja cristalinidad debido a su alto contenido de L-isómero). La incorporación de los derivados de colofonia conllevó a una ligera disminución de la  $T_g$  en las formulaciones, siendo, por el contrario, muy notable en la formulación de PLA con GE88/OLA. Esta disminución de la temperatura de transición vítrea de 61,5 °C (PLA virgen) a 43,8 °C (PLA/GE88/OLA) se atribuye a efecto plastificante producido por OLA, el cual facilita la movilidad de las cadenas poliméricas a temperatura más bajas [15]. Además, se observó que al incorporar los derivados de colofonia y el plastificante OLA, desaparecen los picos de cristalización y de fusión respectivamente, transformándose

en formulaciones aún más amorfas. Este hecho se atribuye a un efecto de impedimento estérico que ejercen las moléculas de los derivados de colofonia impidiendo el ordenamiento de las cadenas de ácido láctico.

**Tabla 2.** Principales parámetros térmicos de las formulaciones de PLA/Derivados de colofonia.

Mezclas	$T_g$ (°C)	$T_{cc}$ (°C)	$\Delta H_{cc}$ (Jg <sup>-1</sup> )	$T_m$ (°C)	$\Delta H_m$ (Jg <sup>-1</sup> )	$X_c$
PLA	61,5	111,5	21,4	152,4	25,1	4,1
PLA/UP33	61,3	133,5	1,04	156,8	1,03	0
PLA/GE88	60,6	-	-	-	-	-
PLA/GE88/OLA	43,8	-	-	-	-	-

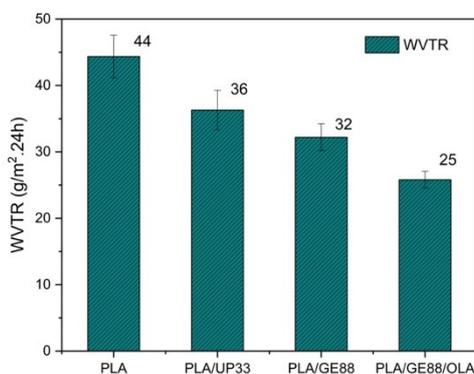


**Figura. 2.** Comparación de las curvas calorimétricas de las formulaciones de PLA/Derivados de colofonia. Tomadas del segundo ciclo de calentamiento.

### Transmisión de vapor de agua (WVTR)

Además de las propiedades químicas de los aditivos utilizados en el empaque de alimentos y su influencia en la preservación de estos, otros factores como la permeabilidad de gases (vapor de agua, oxígeno) son considerados de gran importancia, ya que de ello depende de igual forma la preservación del alimento [16]. Por tanto, en este estudio se analiza el intercambio de moléculas de agua (en condiciones controladas, 23 °C a un 90% de humedad relativa) ocurrido en los films de PLA-Derivado de colofonia obtenidas mediante extrusión soplado. En la Figura. 3, se reportan los valores (normalizados al espesor del film) obtenidos mediante el método de copa gravimétrica para cada film ensayo, los cuales representan la cantidad de líquido que se pierde por la parte posterior de las láminas durante el período de prueba. Por un lado, la muestra de control de PLA virgen mostro un valor similar al presentado por Xu et al. [17] en un estudio previo, el cual podría ser atribuido al contenido de L y D isómeros. Este grado de PLA contiene un 4% de D-isómero (considerado un PLA de bajo porcentaje de cristalización,  $X_c$ ) por tanto su estructura desordenada permite mayor difusión de las moléculas. Por otro lado, las formulaciones de PLA-Derivado de colofonia mostraron una disminución de la tasa de transmisión de vapor de agua, siendo más notable en la formulación de PLA con GE88 y PLA con GE88/OLA. Esta disminución de la WVTR podría estar atribuida al carácter hidrofóbico de los derivados de colofonia, los cuales carecen de grupos hidroxilos mostrando un rechazo a las moléculas de agua. Por el contrario, se conoce que la colofonia no modificada aumenta

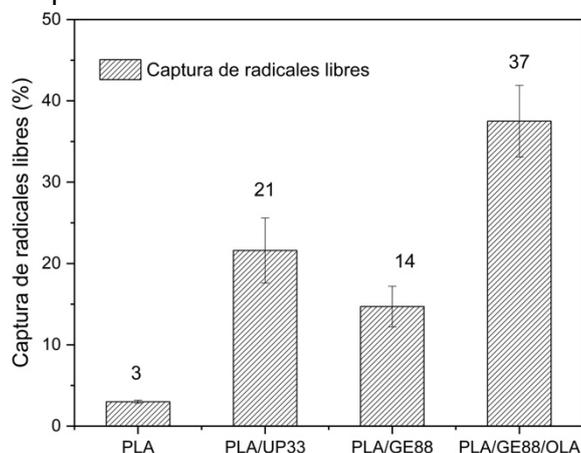
la capacidad de atracción de las moléculas de agua debido a la presencia de los grupos hidroxilos en los ácidos resínicos de la colofonia, los cuales son susceptibles en la formación de puentes de hidrogeno [18]. De acuerdo con Tolinski [19], los cambios morfológicos en una matriz polimérica (al volverse más cristalina y densa por efecto de aditivos) pueden influenciar de forma positiva en la tasa de transmisión del vapor de agua.



**Figura. 3.** Tasa de transmisión de vapor de agua de las formulaciones de PLA/Derivados de colofonia.

### Actividad antioxidante

Los análisis de captación de radicales libres mediante el uso de DPPH, mostraron una baja actividad antioxidante en la muestra de control de PLA virgen (3%), mientras que los films de PLA/Derivados de colofonia mostraron un incremento de la actividad antioxidante en más de un 15%, especialmente el film de PLA aditivado UP33. Por otro lado, el film de PLA con GE88 y OLA, presentó una alta actividad antioxidante de más del 35% (ver Figura. 4). En el presente estudio, OLA no fue incorporado con fines de incrementar la actividad antioxidante del film. El objetivo principal fue utilizar OLA como agente plastificante, sin embargo, resultó en un aumento considerable de dicha actividad. La actividad antioxidante de los films de PLA/Derivados de colofonia aumentó significativamente ( $P < 0,01$  vs PLA). El efecto antioxidante de un compuesto se debe a las moléculas activas, las cuales al ser incorporadas en materiales poliméricos previenen la reacción en cadena de autooxidación mediante el bloqueo de peróxidos orgánicos. Basados en estos resultados de la actividad antioxidante, se asume que los derivados de colofonia podrían ser utilizado potencialmente como agentes antioxidantes natural en el sector del empaque de alimentos, en combinación con matrices poliméricas habitualmente utilizadas para estos fines.



**Figura. 4.** Actividad antioxidante de las formulaciones de PLA/Derivados de colofonia.

## CONCLUSIONES

Films de PLA/Derivados de colofonia fueron fabricados exitosamente mediante extrusión soplado. Las formulaciones resultantes mostraron una importante disminución de la  $T_g$ , especialmente la formulación de PLA con GE88/OLA, dando lugar a la obtención de films con mayor flexibilidad. Los ensayos de WVTR mostraron una disminución de la permeabilidad para las formulaciones aditivadas con ambos derivados de colofonia. Además, al incorporar el plastificante OLA en combinación con el derivado de colofonia GE88, se observó una reducción de WVTR de un 43% con respecto al PLA virgen. Por otro lado, el análisis de captación de radicales libres con DPPH, mostró un incremento de la actividad antioxidante de las muestras de PLA/Derivados de colofonia, en comparación con las muestras de PLA virgen. De igual forma, la formulación de derivado de colofonia GE88 en combinación con OLA, mostró un mayor incremento en el porcentaje de la actividad antioxidante. Estos resultados sugieren que los materiales en forma de film de PLA/Derivados de colofonia en combinación con OLA como plastificante, podría ser potencialmente empleados como materiales de envase y embalaje para alimentos, especialmente para la conservación de frutas.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 a través del proyecto PID-AEI Project (PID2021-123753NA-C33 y PID2020-116496RB-C22) y mediante la financiación del proyecto TED-AEI (TED2021-129920A-C43), y tal corresponda, por la “ERDF Una manera de hacer Europa” la “Unión Europea” o “Unión Europea Próxima Generación/PRTR”. Los autores agradecen a United Resins—Produção de Resinas S.A. (Figueira da Foz, Portugal) por suplir los derivados de colofonia y por la colaboración en el proyecto nº E! 114728 “Development and demonstration of innovative bio-resin-based polymers for industrial applications” - DDIBIORESIN (Project EUREKA – EUROSTARS 2).

## REFERENCIAS

- [1] L. Avérous, C. Fringant, and L. Moro, “Starch-based biodegradable materials suitable for thermoforming packaging,” *Starch/Staerke*, vol. 53, no. 8, pp. 368–371, Aug. 2001, doi: 10.1002/1521-379X(200108)53:8<368::AID-STAR368>3.0.CO;2-W.
- [2] S. Chillo, S. Flores, M. Mastromatteo, A. Conte, L. Gerschenson, and M. A. Del Nobile, “Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties,” *J Food Eng*, vol. 88, no. 2, pp. 159–168, Sep. 2008, doi: 10.1016/J.JFOODENG.2008.02.002.
- [3] L. Sánchez-González, M. Vargas, C. González-Martínez, A. Chiralt, and M. Cháfer, “Use of Essential Oils in Bioactive Edible Coatings: A Review,” *Food Engineering Reviews*, vol. 3, no. 1, pp. 1–16, Mar. 2011, doi: 10.1007/S12393-010-9031-3/TABLES/5.
- [4] E. Fortunati et al., “New multifunctional poly(lactide acid) composites: Mechanical, antibacterial, and degradation properties,” *J Appl Polym Sci*, vol. 124, no. 1, pp. 87–98, Apr. 2012, doi: 10.1002/APP.35039.
- [5] J. H. Han, “Edible Films and Coatings: A Review,” *Innovations in Food Packaging: Second Edition*, pp. 213–255, Jan. 2014, doi: 10.1016/B978-0-12-394601-0.00009-6.
- [6] M. Hannuksela and T. Haahtela, “Hypersensitivity reactions to food additives,” *Allergy*, vol. 42, no. 8, pp. 561–575, 1987, doi: 10.1111/J.1398-9995.1987.TB00386.X.
- [7] M. Troilo, G. Difonzo, V. M. Paradiso, C. Summo, and F. Caponio, “Bioactive Compounds from Vine Shoots, Grape Stalks, and Wine Lees: Their Potential Use in Agro-Food Chains,” *Foods 2021*, Vol. 10, Page 342, vol. 10, no. 2, p. 342, Feb. 2021, doi: 10.3390/FOODS10020342.

- [8] M. J. Jara-Palacios, S. Gonçalves, F. J. Heredia, D. Hernanz, and A. Romano, "Extraction of Antioxidants from Winemaking Byproducts: Effect of the Solvent on Phenolic Composition, Antioxidant and Anti-Cholinesterase Activities, and Electrochemical Behaviour," *Antioxidants*, vol. 9, no. 8, pp. 1–15, Aug. 2020, doi: 10.3390/ANTIOX9080675.
- [9] I. Lahmass et al., "Determination of Antioxidant Properties of Six By-Products of *Crocus sativus* L. (Saffron) Plant Products," *Waste Biomass Valorization*, vol. 9, no. 8, pp. 1349–1357, Aug. 2018, doi: 10.1007/S12649-017-9851-Y/TABLES/2.
- [10] S. Collazo-Bigliardi, R. Ortega-Toro, and A. Chiralt, "Improving properties of thermoplastic starch films by incorporating active extracts and cellulose fibres isolated from rice or coffee husk," *Food Packag Shelf Life*, vol. 22, p. 100383, Dec. 2019, doi: 10.1016/J.FPSL.2019.100383.
- [11] S. Torres-Giner, J. V. Gimeno-Alcañiz, M. J. Ocio, and J. M. Lagaron, "Optimization of electrospun polylactide-based ultrathin fibers for osteoconductive bone scaffolds," *J Appl Polym Sci*, vol. 122, no. 2, pp. 914–925, Oct. 2011, doi: 10.1002/app.34208.
- [12] J. Trifol, D. C. Marin Quintero, and R. Moriana, "Pine Cone Biorefinery: Integral Valorization of Residual Biomass into Lignocellulose Nanofibrils (LCNF)-Reinforced Composites for Packaging," *ACS Sustain Chem Eng*, vol. 9, no. 5, pp. 2180–2190, Feb. 2021, doi: 10.1021/ACSSUSCHEMENG.0C07687/ASSET/IMAGES/LARGE/SC0C07687\_0004.JPEG.
- [13] P. A. V. Freitas, N. J. Bas Gil, C. González-Martínez, and A. Chiralt, "Antioxidant poly (lactic acid) films with rice straw extract for food packaging applications," *Food Packag Shelf Life*, vol. 34, p. 101003, Dec. 2022, doi: 10.1016/J.FPSL.2022.101003.
- [14] D. Jubinville, J. Sharifi, T. H. Mekonnen, and H. Fayazfar, "A Comparative Study of the Physico-Mechanical Properties of Material Extrusion 3D-Printed and Injection Molded Wood-Polymeric Biocomposites," *J Polym Environ*, pp. 1–13, Mar. 2023, doi: 10.1007/S10924-023-02816-Y/FIGURES/8.
- [15] M. Maiza, M. T. Benaniba, G. Quintard, and V. Massardier-Nageotte, "Biobased additive plasticizing Poly(lactic acid) (PLA)," *Polimeros*, vol. 25, no. 6, pp. 581–590, Nov. 2015, doi: 10.1590/0104-1428.1986.
- [16] A. Emblem, "Packaging functions," *Packaging Technology*, pp. 24–49, Jan. 2012, doi: 10.1533/9780857095701.1.24.
- [17] J. Xu, P. H. Manepalli, L. Zhu, S. Narayan-Sarathy, and S. Alavi, "Morphological and performance characteristics of nanocomposite films based on poly(lactic acid) compounded with nanocrystalline cellulose and chitin whiskers using melt extrusion," *Cellulose*, vol. 27, no. 13, pp. 7523–7534, Sep. 2020, doi: 10.1007/S10570-020-03197-4/TABLES/4.
- [18] H. de la Rosa-Ramirez, M. Aldas, J. M. Ferri, M. D. Samper, and J. Lopez-Martinez, "Modification of poly (lactic acid) through the incorporation of gum rosin and gum rosin derivative: mechanical performance and hydrophobicity," *J Appl Polym Sci*, vol. 49346, pp. 1–15, 2020, doi: 10.1002/app.49346.
- [19] M. Tolinski, "Gas Barrier Properties Enhancement," *Additives for Polyolefins*, pp. 171–173, Jan. 2015, doi: 10.1016/B978-0-323-35884-2.00018-1.

---

## **COMUNICACIONES ORALES**

---



## Caracterización físico-química de la semilla de chía (*Salvia hispanica. L*) y desarrollo de compuestos activos biobasados para el sector polimérico

Domínguez-Candela, Iván <sup>(1)</sup>, Seguí-Pons, Mauro <sup>(2)</sup>, C. Cardona, Salva <sup>(1)</sup>, Lora, Jaime <sup>(1)</sup>, Fombuena, Vicent <sup>(2)</sup>

(1) Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante)

email: [ivdocan@doctor.upv.es](mailto:ivdocan@doctor.upv.es), [scardona@iqn.upv.es](mailto:scardona@iqn.upv.es), [jlor@iqn.upv.es](mailto:jlor@iqn.upv.es)

(2) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante)

email: [mausepon@epsa.upv.es](mailto:mausepon@epsa.upv.es), [vifombor@upv.es](mailto:vifombor@upv.es)

### RESUMEN

La producción de plásticos de origen petroquímico está agravando el cambio climático. Este efecto ha impulsado la búsqueda de alternativas más sostenibles para mitigar el problema. En este sentido, las semillas vegetales, concretamente la semilla de chía, se obtienen a partir de recursos renovables y contienen un porcentaje elevado de compuestos activos. La semilla de chía presenta, por un lado, aceite con un alto contenido de ácidos grasos susceptibles a modificaciones químicas y, por otro lado, la harina contiene componentes activos como mucílago, carbohidratos y proteínas. En este trabajo se evaluará el contenido de cada uno de los compuestos activos biobasados presentes en la semilla de chía y las posibles aplicaciones en el sector polimérico.

**Palabras clave:** semilla de chía, aceite de chía, harina de chía, mucílago, proteínas, compuestos activos biobasados.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria de los polímeros es un sector que contribuye en las emisiones de gases del efecto invernadero. En este sentido, representa entorno a un 3 % del total de los gases emitidos con una previsión de aumento del 15% en los próximos años [1]. Como consecuencia, las catástrofes medioambientales como la pérdida de la biodiversidad o el aumento de fenómenos meteorológicos extremos serán cada vez más frecuentes.

Entre las alternativas disponibles para disminuir estas emisiones, destaca la sustitución de los polímeros convencionales (origen petroquímico) por los de procedencia renovable, permitiendo una disminución de emisiones en torno al 30-80%. A pesar de ello, los polímeros de origen renovable siguen presentando una cuota baja de mercado (10%) [2]. Además de ello, los aditivos empleados en esta industria como plastificantes, compatibilizantes o resinas epoxi, son generalmente de procedencia petroquímica. Por tanto, con el objetivo de aumentar la mayor presencia de materia prima de origen renovable en las matrices poliméricas, se ha estudiado en los últimos años la aplicación de las semillas vegetales en este sector. Las semillas están compuestas por un contenido oleoso (aceite), mientras que el restante es una harina con alto contenido en proteínas y carbohidratos. Respecto al aceite, está formado por triglicéridos que son

moléculas de ácidos grasos (AG) unidas a una molécula de glicerol. Estos AGs contienen dobles enlaces que son susceptibles a modificaciones químicas cuyo objetivo principal es la incorporación de un grupo reactivo. Una vez modificado el aceite, presentará mayor reactividad para aplicarse como aditivo en el sector termoplástico o termoestable. Por otro lado, la harina puede emplearse como carga o fuente de compuestos activos. Entre las semillas vegetales más empleadas a nivel industrial destaca la linaza y la soja debido a su alto contenido de dobles enlaces en el aceite. Sin embargo, la semilla de chía (*Salvia hispanica. L*) presenta un elevado contenido de dobles enlaces y de compuestos activos en la harina. Esto le confiere un gran interés industrial para el desarrollo de compuestos activos en el sector polimérico.

## OBJETIVOS

El objetivo actual es la caracterización de la semilla de chía (*Salvia hispanica. L*) para evaluar sus aplicaciones como compuesto activo biobasado en el sector de los polímeros.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La semilla de chía está compuesta por un 25-35% de aceite y un 65-75% de harina, donde la harina es obtenida tras el proceso de extracción del aceite. Estos dos productos pueden ser empleados como componentes activos en el sector de los biopolímeros. En la Tabla 1 se muestra una estimación de la composición de la semilla de chía.

**Tabla 1.** Composición semilla de chía [3].

Componentes activos		% respecto a la semilla	
Aceite	Lípidos	25,0-35,0	
	Carbohidratos	50,3-56,7	
Harina	Fibras Soluble	3,0-3,6	
	Fibra Insoluble	Celulosa Hemicelulosa Lignina	17,6-19,1 24,2-28,0 5,49-6,0
	Proteínas	18,0-24,0	

En primer lugar y centrándose en el aceite de chía, en la Tabla 2 se muestra el contenido de AGs. Tal y como se observa, presenta un bajo contenido de AG saturados (9.79%) con ninguna presencia de dobles enlaces. Por otro lado, el ácido oléico con 1 doble enlace (C18:1), ácido linoléico con 2 dobles enlaces (C18:2) y  $\alpha$ -Linolénico con 3 dobles enlaces (C18:3), son los que aportan los puntos reactivos para su posterior modificación química. Por tanto, se considera que casi el 90% de los AGs del aceite de chía son monoinsaturados y poliinsaturados, siendo el aceite vegetal con mayor contenido de  $\alpha$ -Linolénico. La alta presencia de dobles enlaces en los triglicéridos le confiere una media de dobles enlaces por triglicérido de 7.1, siendo un valor similar o incluso superior que el aceite de linaza (6.8) [4]. Estos valores elevados permiten modificar este aceite mediante la reacción de epoxidación o maleinización con la finalidad de aumentar la reactividad final del aceite. A continuación, se mostrarán las aplicaciones de estas dos modificaciones en el aceite de chía.

**Tabla 2.** Composición de los ácidos grasos del aceite de chía.

Ácidos grasos (AGs)	% en peso
Palmítico (C16:0)	6,8
Estearico (C18:0)	2,7
Oleico (C18:1)	6,2
Linoleico (C18:2)	18,6
$\alpha$ -Linolénico (C18:3)	64,4
AG saturados	9,8
AG monoinsaturados	6,5
AG poliinsaturados	83,0
Media Dobles enlaces por triglicérido	7,1

En el caso de la reacción de epoxidación, se produce la rotura de dobles enlaces de los AGs como consecuencia de la incorporación de un grupo epoxi, obteniendo el aceite epoxidado de chía (AEC) cuya reactividad final del aceite aumenta para aplicarse en diferentes sectores. En el sector termoplástico, la presencia de grupos epoxi del AEC permite interaccionar con las cadenas poliméricas del polímero utilizado actuando como plastificante. Esto permite que sea empleado como sustituto a los existentes plastificantes de origen petroquímico como es el caso de los ftalatos que ocasionan problemas de salud además de medioambientales debido a su origen. Por ejemplo, el AEC puede emplearse como plastificante en una matriz de ácido poliláctico (PLA) cuyo origen es renovable y presenta una elevada biodegradabilidad apta para aplicarse en la industria del envase y embalaje. Esta plastificación permite disminuir la fragilidad intrínseca del PLA, favoreciendo su ductilidad para emplearse en un sector con perspectiva de aumento de producción. Además, el AEC puede emplearse como plastificante/compatibilizante para la fabricación de Wood Plastic Composites (WPC), es decir, polímeros con imitación a madera. Por otro lado, también puede emplearse el AEC como matriz epoxi en el sector de los termoestables, aumentando el contenido bio de las resinas fabricadas. Esto permite sustituir el empleo de resinas epoxi de origen petroquímico en la industria de los termoestables, cuya cuota de mercado es del 20%. En lo referido a la reacción de maleinización, el objetivo de esta modificación química es la sustitución de los dobles enlaces por un grupo maleato obteniendo el aceite maleinizado de chía (AMC). La mayor reactividad química del aceite modificado también le permite ser empleado en el sector de los termoplásticos como plastificante para el PLA o plastificante/compatibilizante en la fabricación de WPC, además de endurecedor de origen bio en el sector de los termoestables.

En segundo lugar, tras el proceso de extracción del aceite de chía se obtiene la harina como subproducto. La carga puede emplearse directamente o mediante la extracción de los componentes activos, aprovechando todos los compuestos de la harina. En la Figura 1 se muestra los diferentes componentes activos, mostrando la posibilidad de extraer secuencialmente los compuestos activos a partir de la harina de chía. En el caso de la incorporación directa de la harina en un matriz polimérica, permitiría la disminución de costes de producción debido al menor contenido de la matriz y simulando un color a madera en los productos finales debido a su característico color marrón, permitiendo además la revalorización de la harina. Este puede emplearse en la industria de construcción con el objetivo de obtener WPC para la imitación de lamas de madera o para mobiliario urbano. Por otro lado, es posible extraer los componentes activos de la harina de chía ya que presenta contenido en fibras solubles, insolubles y proteínas. Cada uno de estos compuestos pueden ser extraídos mediante diferentes metodologías

reportadas en bibliografía, lo que permite obtener diferentes componentes activos para diversas aplicaciones. En este trabajo se propone una extracción secuencial de estos compuestos activos. En primer lugar, se produciría la extracción de fibras solubles como el mucílago, que es un polisacárido soluble de alto peso molecular. Este compuesto representa el 6% del peso de la semilla y puede ser empleado como film comestible para el embalaje del alimento, donde actuaría como barrera para retrasar la migración de humedad y gases. Seguidamente, la extracción de las fibras insolubles destacando la celulosa, hemicelulosa y lignina con una media de 17.8, 26.1 y 5.7% en peso, respectivamente. Estos componentes, pueden ser empleados como cargas en matrices poliméricas de alto rendimiento medioambiental como el PLA o bio polietileno (Bio-PE) para la fabricación films comestibles con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas. Por último, se procede a la extracción de proteínas con un contenido medio del 21% en peso. Este compuesto activo puede emplearse directamente para la fabricación de films comestibles mediante el empleo de plastificantes como glicerol o sorbitol para la industria del envase y embalaje.



**Figura 1.** Los compuestos activos disponibles en la semilla de chía.

## CONCLUSIONES

La semilla de chía es un recurso de origen renovable que presentan un alto contenido en compuestos activos biobasados para aplicarse en el sector de los biopolímeros. Por un lado, el alto contenido de AGs poliinsaturados le permite ser susceptible a modificaciones químicas para aplicarse como plastificante, plastificante/compatibilizante o resina epoxi. Por otro lado, la harina de chía, considerado un subproducto de la extracción del aceite, puede ser empleada como carga en WPC o puede realizarse extracciones secuenciales con la finalidad de extraer el mucílago, fibras insolubles y, por último, proteínas. De esta forma, se obtiene diversos compuestos activos a partir de la semilla de chía para ser empleados en diferentes sectores y aplicaciones.

## REFERENCIAS

- [1] Olhoff, A. (Ed.), & Christensen, J. M. (2018). Emissions Gap Report 2018. UNEP DTU Partnership.
- [2] D. Bourguignon. (2017) Plastics in a circular economy: Opportunities and challenges. European Parliamentary Research Service: Brussels, Belgium
- [3] Ivana Capitani, Marianela; Spotorno, V; Nolasco, Susana M.; Tomas, Mabel C. (2012) "Physicochemical and functional characterization of by-products from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina". *LWT-Food Science and Technology*, v.45, n.1, p.p 94-102. DOI:10.1016/j.lwt.2011.07.012
- [4] Bayrak, Ayben; Kiralan, Mustafa; Ipek, Arif; Arslan, N.; Cosge, Belgin; Khawar, Mahmood (2010). "Fatty acid compositions of linseed (*Linum usitatissimum* L.) genotypes of different origin cultivated in Turkey". *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. v.24, n.2, p.p 1836-1842. DOI: 10.2478/V10133-010-0034-2

## Propiedades mecánicas de un polímero termoestable bio-basado a partir del aceite de cáñamo (*Cannabis Sativa*) modificado químicamente

Lerma-Canto, Alejandro <sup>(1)</sup>, Domiguez-Candela, Iván <sup>(2)</sup>, Ferri, Jose Miguel <sup>(1)</sup>, García-García, Daniel <sup>(1)</sup>, Fombuena, Vicent <sup>(1)</sup>

(1) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España

(2) Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM), Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España

e-mail: [allercan@epsa.upv.es](mailto:allercan@epsa.upv.es), [ivdocan@doctor.upv.es](mailto:ivdocan@doctor.upv.es), [jofera@upvnet.upv.es](mailto:jofera@upvnet.upv.es), [dagarga4@epsa.upv.es](mailto:dagarga4@epsa.upv.es), [vifombor@upv.es](mailto:vifombor@upv.es)

### RESUMEN

En el presente estudio, se ha analizado el proceso de reticulación de una resina epoxi basada en aceite de cáñamo epoxidado (ACE). Además, como agente de curado para esta resina se han utilizado los siguientes endurecedores: el primero de origen petroquímico, el metil nadic norborneno (MNA) y uno de origen bio, el aceite de cáñamo maleinizado (ACM). El aceite de cáñamo modificado químicamente mediante el proceso de epoxidación tiene un índice de oxígeno oxiránico de 7.2, siendo este muy semejante al de algunos de los aceites epoxidados que se encuentran a nivel comercial. A las muestras obtenidas se les sometió a ensayos de flexión, impacto y dureza. Los resultados obtenidos tras realizar estos ensayos, muestran que la mezcla con solo MNA como endurecedor se caracteriza por presentar una alta rigidez y fragilidad. Por otro lado, a medida que el porcentaje de ACM aumenta en la muestra, aumenta a su vez las propiedades dúctiles, pero disminuyen las propiedades de resistencia mecánica. Se puede afirmar que el ACM confiere propiedades flexibles a las mezclas. La mezcla que presenta unas propiedades más equilibradas y un significativo contenido de base biológica es la que contiene un 25% de ACM y un 75% de MNA.

**Palabras clave:** termoestables, aceite de cáñamo epoxidado, aceite de cáñamo maleinizado, ensayo de flexión, propiedades mecánicas.

### INTRODUCCIÓN

Las resinas epoxi, que se encuentran dentro de la familia de los polímeros termoestables, son utilizados en el campo de la ingeniería como adhesivos y matriz polimérica para materiales compuestos. Estas resinas se caracterizan por que presentan unas excelentes propiedades mecánicas, adhesivas, térmicas y de resistencia a los disolventes [1]. Por otro lado, este tipo de resinas también tiene varios inconvenientes, ya que la gran mayoría se obtienen a partir de productos petroquímicos, unido a que es muy difícil llegar a reciclarlos, existe un gran problema para llegar a reducir la huella de carbono producida durante su ciclo de vida [2]. A raíz de esta problemática que acarrea la utilización de este tipo de resinas, se pueden llegar a reemplazar por resinas epoxi de base biológica, que están formuladas a partir de precursores como caucho natural, furanos o, los que tienen mayor importancia, aceites

vegetales (AV) [3]. Estos AV son de especial interés ya que son económicos, sostenibles y unos buenos sustitutos de las resinas epoxi de origen petroquímico para aplicaciones específicas de baja carga. Además, los AV pueden ser modificados químicamente mediante reacciones químicas como puede ser el proceso de epoxidación o de maleinización. Una vez modificados los AV, pueden ser usados como plastificantes, compatibilizantes, recubrimientos y resinas termoestables [4].

El aceite de semilla de cáñamo, debido a que tiene un elevado contenido de ácidos grasos insaturados, permite una amplia gama de modificaciones químicas, como puede ser las comentadas con anterioridad, la epoxidación y la maleinización [5]. Además, para llegar a convertir un AV epoxidado en un material que llegue a sustituir las resinas termoestables de origen petroquímico, se tienen que utilizar endurecedores como anhídrido o aminas. Por lo tanto, los grupos maleicos que se encuentran presentes en los AV maleinizados pueden reaccionar con los grupos epoxi de los AV epoxidados, para así obtener, mediante una selección adecuada de aceleradores y catalizados, una estructura reticulada.

## OBJETIVOS

El propósito de este estudio es llevar a cabo modificaciones químicas en el aceite de semilla de cáñamo utilizando los procesos de epoxidación y maleinización, con el fin de obtener aceite de cáñamo epoxidado y aceite de cáñamo maleinado. El ACE se utilizará como base para la resina tipo epoxi, mientras que el ACM se empleará como sustituto de los endurecedores anhídridos de origen petroquímico, como el MNA, actualmente utilizados.

## MÉTODO EXPERIMENTAL

El proceso de obtención del aceite de semilla de cáñamo (*Cannabis sativa*) se realizó utilizando una extrusora CZR-309 de temperatura ambiente, suministrada por Changyouxin Trading Co. en Zhucheng, China. Las semillas de cáñamo se adquirieron en un comercio local ubicado en Callosa de Segura, España. La epoxidación se llevó a cabo a una temperatura de 65°C durante un período de 8 horas. El aceite de semilla de cáñamo epoxidado (ACE) resultante presentó parámetros significativos, como un índice de oxígeno oxiránico de 7,2 y un Epoxy Equivalent Weight (EEW) de 226 moles de oxígeno oxiránico por cada 100 gramos de resina.

En cuanto a los endurecedores utilizados, se emplearon tanto el MNA como el ACM. El MNA, de origen petroquímico, fue suministrado por Sigma Aldrich en Madrid, España, y posee un Anhydride Equivalent Weight (AEW) de 178 g-equiv<sup>-1</sup>. Por otro lado, el ACM, un endurecedor de origen biológico, se caracteriza por tener un índice de acidez de 106 mg KOH·g<sup>-1</sup> y una viscosidad máxima de 10 dPa·s a 20°C. En el proceso también se utilizó un acelerador, en este caso, el 1-metilimidazol en una concentración del 2% en peso, suministrado también por Sigma Aldrich. Por último, como catalizador se empleó el glicerol en una proporción del 0,8% en peso, también proporcionado por Sigma Aldrich.

Por otra parte, las distintas formulaciones se llevaron a cabo manteniendo constante la cantidad de ACE, glicerol y 1-metilimidazol, mientras se variaba la cantidad de los endurecedores, MNA y ACM, como se muestra en la Tabla 1.

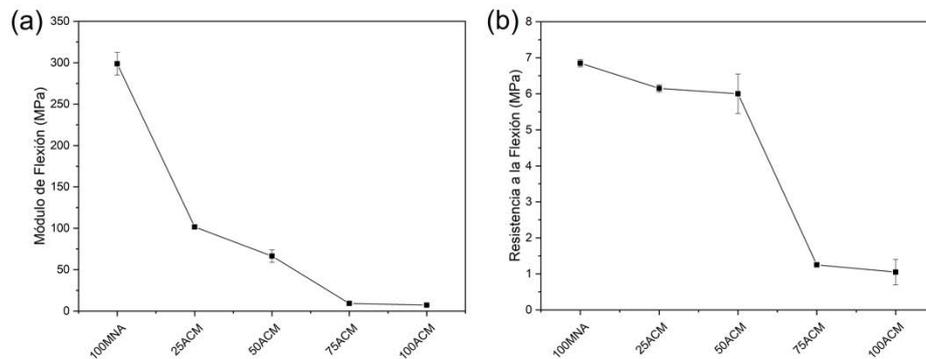
Para llevar a cabo el ensayo de flexión se ha utilizado una máquina universal de ensayos Ibertest ELIB 30 de SAE Ibertest (Madrid, España) a temperatura ambiente y a una velocidad de  $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  h. En cuanto al ensayo de impacto se realizó con un péndulo Charpy de 6 J de Metrotec SA (San Sebastian, España) siguiendo la norma ISO 179. Por último, el ensayo de dureza se obtuvo haciendo uso de un durómetro de dureza Shore D 676 de J.Bot SA (Barcelona, España) siguiendo la norma ISO 868.

**Tabla 1.** Contenido de los endurecedores en las mezclas.

Muestra	MNA	ACM
100MNA	100	0
25ACM	75	25
50ACM	50	50
75ACM	25	75
100ACM	0	100

## RESULTADOS

En la Figura 1, se plasman los resultados obtenidos del módulo de flexión y de la resistencia a la flexión, respectivamente. Como se puede llegar a apreciar en la Figura 1a, el módulo de flexión de la muestra que contiene un 100% de MNA como endurecedor (100MNA) es de 300 MPa. En cambio, las muestras que tiene un contenido de ACM tienen menos rigidez, como por ejemplo la muestra que tiene un contenido de 75% de MNA y 25% de ACM (75ACM) en la mezcla, presenta un módulo de flexión mucho más bajo dando un valor de 100 MPa, esto supone una disminución del 200%. Dicha disminución aumenta a medida que el porcentaje de ACM en la muestra aumenta.



**Figura 1.** Parámetros más representativos del ensayo de tracción sobre el entrecruzamiento del aceite de cáñamo epoxidado (ACE) con diferentes cantidades de MNA y AMC. a) Módulo de flexión y b) Resistencia a la flexión.

Por otra parte, en la Figura 1b se encuentra representada la resistencia a la flexión. La tendencia es similar a la que se ha observado en el módulo de flexión, ya que a medida que aumenta el contenido de ACM en las mezclas, la resistencia a la flexión disminuye en comparación con la muestra 100MNA que no tiene contenido de ACM como endurecedor. Se observa como esta resistencia a la flexión disminuye de un valor de 7 MPa para la muestra 100MNA, hasta valores de 1 MPa para la muestra de 100ACM. Estas disminuciones en las propiedades mecánicas que presentan las muestras vienen ocasionadas por las estructuras de los endurecedores utilizados, ya que el MNA es un anhídrido cíclico y por lo tanto, le confiere rigidez a la mezcla. En cambio, el ACM está compuesto por triglicéridos y aporta a las mezclas una mayor flexibilidad.

**Tabla 2.** Datos obtenidos de los ensayos de impacto y de dureza para las diferentes muestras.

Muestra	Dureza (Shore D)	Error	Charpy (kJ·m <sup>-2</sup> )	Error
100MNA	62,8	0,447	6,33	0,083
25ACM	43,8	5,891	17,58	0,151
50ACM	43,8	1,095	17,15	0,101
75ACM	31,4	1,517	No rompe	-
100ACM	20,8	0,936	No rompe	-

Como podemos observar en la Tabla 2, se encuentran los valores obtenidos, tanto del ensayo de impacto como del ensayo de dureza. De igual manera que ocurre con la resistencia a la flexión, la dureza disminuye a medida que aumenta el contenido de ACM en la mezcla. El valor más alto obtenido es de 63 Shore D y lo presenta la muestra 100MNA. Por otro lado, las muestras 25ACM y 50ACM presentan valores similares entorno a 44 Shore D. Sin embargo, la muestra que presenta el valor más bajo es la 100MNA, con una dureza de 21 Shore D.

Por otro lado, en cuanto a los resultados obtenidos de adsorción de energía en las diferentes muestras, dos de las cinco muestras ensayadas no llegaron a romper (75ACM y 100ACM), por lo tanto, no se dispone de valores de estas muestras. Sin embargo, el valor obtenido por la muestra 25ACM a comparación del valor que presenta la muestra 100MNA, es superior en un 180%. Por lo tanto, este aumento de la energía de impacto en las muestras que contienen ACM, corrobora ese aumento de la ductilidad.

## CONCLUSIONES

En este estudio, se logró realizar una reticulación de resinas con un alto contenido biológico al reemplazar el endurecedor petroquímico metil nadic norborneno (MNA) por una alternativa de origen biológico, el aceite maleinizado de cáñamo (ACM). Tras llevar a cabo las pruebas mecánicas, se pudo observar que la muestra que contenía un 100% de MNA (100MNA) presentaba una elevada rigidez y fragilidad. Sin embargo, al agregar diferentes cantidades de ACM, se pudo apreciar que el material exhibía una mayor ductilidad y flexibilidad.

## REFERENCIAS

- [1] Ray, D., Ghorui, S., Bandyopadhyay, N. R., Sengupta, S., & Kar, T. (2012). New materials from maleated castor oil/epoxy resin blend reinforced with fly ash. *Industrial & engineering chemistry research*, 51(6), pp. 2603-2608
- [2] Hamerton, I., & Mooring, L. (2012). The use of thermosets in aerospace applications. In *Thermosets* (pp. 189-227). Woodhead Publishing
- [3] Boquillon, N., & Fringant, C. (2000). Polymer networks derived from curing of epoxidised linseed oil: influence of different catalysts and anhydride hardeners. *Polymer*, 41(24), pp. 8603-8613.
- [4] Samper, M. D., Fombuena, V., Boronat, T., García-Sanoguera, D., & Balart, R. (2012). Thermal and mechanical characterization of epoxy resins (ELO and ESO) cured with anhydrides. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(8), pp. 1521-1528.
- [5] Shuttleworth, P. S., Díez-Pascual, A. M., Marco, C., & Ellis, G. (2017). Flexible bionanocomposites from epoxidized hemp seed oil thermosetting resin reinforced with halloysite nanotubes. *The Journal of Physical Chemistry B*, 121(11), pp. 2454-2467.

## Optimización del proceso de extracción Soxhlet del aceite de bellota (*Quercus ilex*).

Mauro Seguí-Pons<sup>(1)</sup>, Alexis López-Borrell<sup>(2)</sup>, María Fernanda López<sup>(2)</sup>, Iván Domínguez-Candela<sup>(2)</sup>, Vicent Fombuena<sup>(3)</sup>.

(1) Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (DIQN), Universitat Politècnica de València (UPV)

(2) Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM), Universitat Politècnica de València (UPV), Alcoy, España

(3) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València (UPV), Alcoy, España  
email:mausepon@epsa.upv.es

### RESUMEN

El aceite de bellota contiene una composición formada por diferentes tipos de ácidos grasos insaturados. Debido a la alta cantidad de almidón que contiene la semilla de bellota, los procesos de extracción convencionales como la extrusión o el prensado no son posibles debido al difícil procesamiento de las muestras. Esto es debido a que dicho almidón genera en las muestras una alta viscosidad y sequedad el cual es un factor clave que produce la obstrucción de los equipos de extracción de aceite convencionales. Por ello, en el presente proyecto se van a detallar el método de extracción de aceite a partir del fruto de bellota (*Quercus ilex*) mediante el método Soxhlet y cuyo montaje se realizará de manera convencional, añadiendo ciertas variantes con el fin de optimizar el proceso y conseguir una extracción de aceite superior al 8-9% siendo el valor promedio reportado en bibliografía. El proceso Soxhlet será acompañado por un proceso de destilación y una estufa con el fin de conseguir una completa extracción del aceite.

**Palabras clave:** bellota, aceite de bellota, soxhlet, destilación, rendimiento, aceite puro.

### INTRODUCCIÓN

Las bellotas son una fuente de almidón, proteínas, grasas, minerales y ácidos grasos insaturados. Además, contienen numerosos compuestos biológicamente activos como son los taninos, ácido fenólicos y flavonoides, los cuales son esenciales para la dieta humana con el fin de mantener un nivel adecuado de antioxidantes [1]. La composición de ácidos grasos del aceite de bellota es extremadamente similar a las del aceite de oliva. El aceite de bellota es rico en ácidos grasos insaturados (75–90 %), especialmente ácido oleico (65 %) y ácidos grasos esenciales como el linoleico (17–37 %) y el ácido  $\alpha$ -linolénico (1–4,58 %) presentando un alto valor nutricional [2]. De entre todos los componentes descritos, el almidón es el prioritario (55%). Éste dificulta el procesamiento y extrusión de las bellotas a la hora de obtener aceite debido a su alta viscosidad y tiende a obstruir el troquel de la máquina extrusora. Por tanto, una alternativa para la extracción del aceite de bellota es el método Soxhlet. Este permite la extracción del aceite empleando un ácido orgánico que presenta afinidad química, permitiendo la extracción desde el fruto al disolvente [3].

## OBJETIVOS

El objetivo principal del presente proyecto es la optimización del proceso Soxhlet con el fin de obtener el máximo rendimiento de extracción de aceite de bellota (*Quercus ilex*). Como objetivos secundarios se encuentra el empleo de procesos complementarios al Soxhlet como el de destilación para la obtención del aceite puro.

## MÉTODOS EXPERIMENTALES

Para realizar una correcta extracción del aceite presente en el interior de los frutos de bellota, solamente se tuvo en cuenta la parte interna (núcleo) de la bellota, la cual se consiguió quitando tanto la cáscara como la cúpula. Una vez obtenido el núcleo, se trituró y posteriormente se tamizó obteniendo una fina harina de bellota. Seguidamente, se emplearon dos procesos diferentes que se complementan el uno con el otro.

En primer lugar, se realizará la extracción mediante el uso de disolventes orgánicos para asegurar la máxima extracción y rendimiento del aceite presente en las bellotas.

Seguidamente, se aplicará un proceso de destilación con el fin de recuperar el disolvente orgánico utilizado en el proceso anterior, quedando en el matraz, a priori, solo aceite.

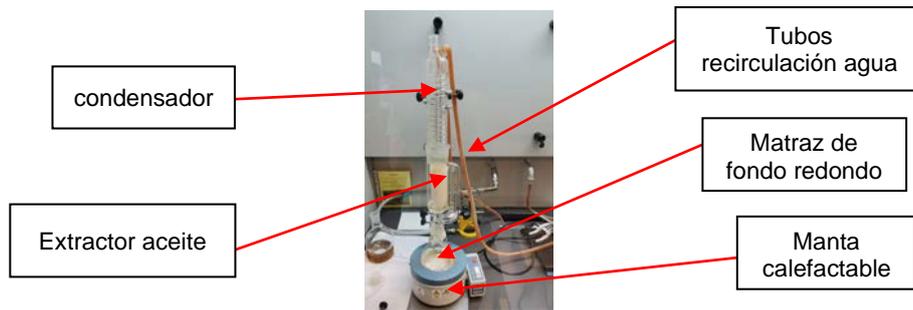
Por último, en este proceso se usará una estufa con el fin de asegurar completamente que, tras el proceso de destilación, no quede ningún resto del disolvente separado en el proceso anterior, obteniendo aceite de bellota puro.

### Preparación equipo Soxhlet

Se realizó un montaje convencional para el proceso de extracción Soxhlet. Este aparato consta de un extractor de vidrio colocado entre un matraz de fondo redondo en la parte inferior y un condensador mediante recirculación de agua en la parte superior. A este proceso se le añadieron ciertas variantes respecto al montaje tradicional con el fin de optimizar el proceso todo lo posible. Estas variantes se introdujeron tras varios intentos y ensayos mediante el método de prueba y error con el fin de observar que cambios eran los suficientemente significativos como para obtener una mejora notable en el proceso de extracción de aceite de bellota mediante el método Soxhlet. A continuación, se indican las condiciones de trabajo:

- El disolvente empleado fue n-Hexano con un punto de ebullición de 68°C y una pureza del 95% con un contenido en agua inferior al 0.01%.
- Se redujo la cantidad de disolvente utilizado, de unos 600 mL empleados comúnmente a 350-400 mL de n-Hexanos, suficientes para 6 g de muestra. Por tanto, desde el punto de vista ambiental, es un factor positivo el hecho de emplear menor cantidad de disolvente orgánico.
- Se pesaron 6 g de harina de bellota tamizada, la cual se envolvió mediante dos filtros de papel de 5 µm, dos de 15 µm y papel de laboratorio tamaño A5. Todo ello se introdujo en un cartucho de acetato de celulosa con el fin de asegurar que los sólidos más finos de la harina de bellota tamizada quedaran retenidos en el cartucho de celulosa. De esta forma se aseguró un aceite libre de impurezas. El proceso de extracción tuvo una duración de 6 h.

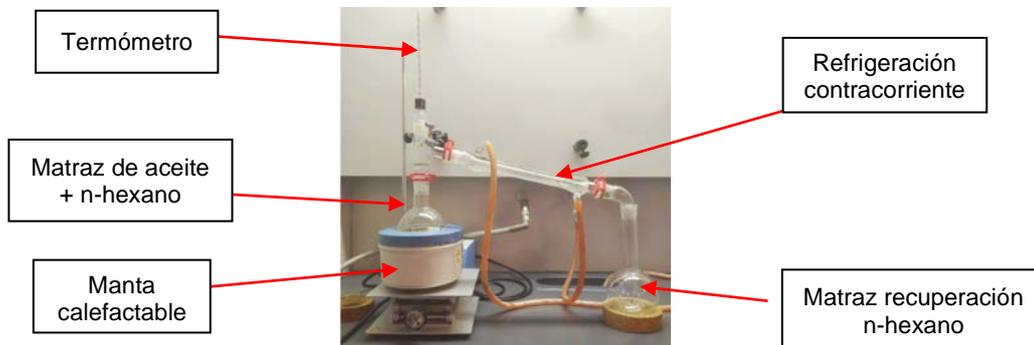
En la Figura 1 se observa el montaje experimental del proceso Soxhlet.



**Figura 1.** Montaje experimental equipo Soxhlet.

### Preparación equipo destilación

Una vez extraído todo el aceite de los 6 g de harina de bellota junto con el disolvente orgánico, el matraz se coloca en un proceso de destilación cuyo montaje puede observarse en la Figura 2. En dicho montaje, el matraz que contiene la mezcla de aceite extraído y el disolvente orgánico del proceso Soxhlet anterior, se dispone en una manta calefactable a 70°C con el fin de evaporar el disolvente n-Hexano. Además, se implementó un sistema de refrigeración con agua a contracorriente, para así recuperar el n-Hexano en otro matraz vacío y poder aprovecharlo utilizándolo de nuevo en otro proceso de extracción ahorrando así costes de reactivos. De esta forma se consiguió solamente aceite en el matraz inicial utilizado también en el Soxhlet. Este proceso de destilación duró aproximadamente 30 – 45 min, hasta que se llegó a observar una separación completa del disolvente con la cantidad de aceite obtenido.



**Figura 2.** Montaje experimental proceso de destilación.

Con todo ello, para finalizar, se introdujo el matraz con el aceite de bellota en una estufa a 105°C durante 1-2h para asegurar la total evaporación del n-Hexano y obtener el aceite exento de disolvente. Posteriormente, se introdujo el aceite de bellota en un desecador con el objetivo de que alcanzase la temperatura ambiente y se pudiese verter en un tubo de ensayo.

## RESULTADOS

Con el objetivo de conocer el rendimiento de la extracción del aceite de bellota, se empleó la Ecuación 1. En dicha ecuación, se tiene en cuenta tanto la harina empleada (la envuelta en los filtros e introducida en el cartucho de celulosa) como la cantidad de aceite obtenido tras la realización del proceso en su totalidad. Cabe destacar que, de los 6 g iniciales, como el proceso de envoltura se realizó de forma manual, la cantidad final de harina introducida en el cartucho de celulosa fue de 5,674 g.

$$\%R = \frac{\text{Masa harina inicial}}{\text{Cantidad aceite final}} \cdot 100 \quad (1)$$

Los resultados finales de la extracción se observan en la Tabla 1:

**Tabla 2.** Resultados obtenidos tras el proceso de extracción.

Muestra	Valor
Masa harina inicial (g)	5.67
Masa matraz vacío (g)	170.54
Masa matraz tras proceso completo (g)	171.40
Cantidad de aceite final (g)	0.87
Rendimiento (%)	15.30

En ella, se observa como el valor de rendimiento obtenido es del 15.30%, es decir, la cantidad aceite puro en 5.67 g de harina de bellota es de 0.87 g. Este valor refleja un alto rendimiento debido a que previos estudios se observó valores entre un 5-10% comúnmente, pudiendo llegar en ocasiones al 20%. Por tanto, con los resultados obtenidos se consigue un elevado porcentaje de aceite de bellota que pueda ser utilizado en la industria alimentaria o de materiales. Por ejemplo, el aceite de bellota se puede incorporar como aditivo en el sector de los plásticos. Donde, debido a las insaturaciones que presentan los ácido grasos presentes en su composición (fundamentalmente oleico, linoleico y linolénico), estas le otorgan al aceite de bellota una cierta reactividad para poder ser modificado químicamente y emplearse como plastificante en ciertas formulaciones y muestras.

## CONCLUSIONES

Tras la realización del proceso de extracción de aceite y comparando los resultados obtenidos, se puede concluir con que la obtención de aceite de bellota mediante la modificación de ciertos parámetros en el proceso de extracción Soxhlet, seguido de un proceso de destilación, se obtuvo como resultado un rendimiento del 15.30% de aceite puro, siendo este un valor muy interesante debido al alto valor de ácidos grasos como el ácido oleico o el linoleico y linolénico presentan una alta importancia a nivel nutricional. Además, estos ácidos grasos insaturados, pese a que presentan pocos dobles enlaces pueden presentar la opción de modificarse químicamente debido a la reactividad que presentan pudiendo ofrecer un componente con un considerable %bio dentro del proceso de la economía circular.

## REFERENCIAS

- [1] Taib, M., & Bouyazza, L. (2021). Composition, physicochemical properties, and uses of Acorn starch. *Journal of Chemistry*, 2021, 1-9.
- [2] Taib, M., Bouyazza, L., & Lyoussi, B. (2020). Acorn oil: chemistry and functionality. *Journal of Food Quality*, 2020, 1-11.
- [3] Hablot, E., Dewasthale, S., Zhao, Y., Zhiguan, Y., Shi, X., Graiver, D., & Narayan, R. (2013). Reactive extrusion of glycerylated starch and starch–polyester graft copolymers. *European polymer journal*, vol.49(4), 873-881.

## Empleo de tejidos lignocelulósicos y sintéticos para la evaporación de aguas salobres

López Borrell, Alexis <sup>(1)</sup>, Lora García, Jaime <sup>(1)</sup>, Fombuena Borrás, Vicent <sup>(2)</sup>,  
López Pérez, María Fernanda <sup>(1)</sup>, Cardona Navarrete, Salvador Cayetano <sup>(1)</sup>

*(1) Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM),  
Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València,  
Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante) e-mail: allobor1@epsa.upv.es*

*(2) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València, Plaza  
Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante)*

### RESUMEN

En el siguiente trabajo se ha tratado de determinar el comportamiento de tejidos lignocelulósicos y de tejidos sintéticos frente a unas aguas salobres sintéticas, con el fin de determinar las velocidades de evaporación en diferentes ciclos de operación con el fin de determinar los parámetros necesarios que permitan escalar el proceso para el tratamiento de aguas residuales procedentes de aguas salobres. Para realizar estos ensayos previos al tratamiento de aguas salobres se ha expuesto los tejidos a disoluciones saturadas de cloruro sódico (NaCl) y de sulfato de cobre pentahidratado ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), ya que son sales presentes en las aguas salobres y de esta manera se estudiará el efecto de sales hidratadas sobre los tejidos.

Para realizar este estudio se han seleccionado previamente diferentes tejidos naturales de bambú, lino, yute y wet-laid, junto a otros tejidos sintéticos de fibra de vidrio tejida, poliéster y aramida. En los diferentes ensayos realizados se ha observado que el efecto de hidratación de la sal de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  tiene una velocidad de evaporación más lenta que el NaCl y la acumulación de sales en los tejidos es más elevada en presencia de NaCl a medida que aumentan los ciclos de operación.

**Palabras clave:** evaporación, tejidos naturales, tejidos sintéticos, acumulación, sales, ZLD.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad la generación de residuos derivados de la producción de agua potable por parte de las desaladoras de agua de mar y de pozos de aguas salobres, además de las aguas procedentes de lixiviados de residuos sólidos urbanos se ha visto incrementado en los últimos años debido al incremento en la demanda de los recursos que se disponen. Las técnicas empleadas para producción de agua potable procedentes de las industrias desaladoras son, por ejemplo, la destilación flash multietapa, la desalación por membranas de ósmosis inversa o empleando energías renovables como la técnica de desalación térmica solar acoplada. Los problemas típicos derivados de esta industria suelen ser asociados a la alta emisión de gases debido al consumo energético que se requiere, el alto consumo de productos químicos necesarios en el pretratamiento de las corrientes y el alto volumen de salmueras concentradas que se vierten como corriente residual, donde se tiene una previsión de incremento para el año 2050 del 49.22% respecto al año 2015 [1].

Las técnicas generalmente empleadas para el tratamiento de este tipo de residuos procedentes de las desaladoras son mediante vertido por sumidero, en el caso de estar cerca de la costa, la gestión de salmueras concentradas cuando no es posible su vertido o la evaporación completa del líquido hasta quedar el residuo sólido entrando en el trabajo de descarga cero de líquidos (ZLD), aunque este método en el caso de salmueras concentradas requiere de altos consumos de energía o superficies de evaporación elevadas [2, 3].

Con el fin de estudiar una alternativa a estos procesos y con un bajo consumo energético se plantea en este trabajo el uso de tejidos naturales y sintéticos que puedan favorecer la evaporación de estas salmueras concentradas empleando una evaporación natural y reduciendo el área de terreno necesaria para ello. El objetivo principal del trabajo reside en el estudio de velocidades de evaporación en tejidos naturales y sintéticos frente a las disoluciones saturadas de NaCl y de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  en 15 ciclos de evaporación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para los ensayos realizados en el laboratorio se dispone de una balanza analítica Nahita blue series 5134 que permite registrar la pérdida de masa de los tejidos situados sobre el plato de pesaje. Para que los tejidos tengan la mayor superficie de evaporación disponible estos se han situado sobre un soporte en el plato de pesaje en una cabina antivientos para simular las condiciones de una evaporación natural.

Los tejidos naturales empleados han sido de yute (Yut), de bambú (Bam), wet-laid de restos de poda de palmera tratado térmicamente con ácido poliláctico (WL-T) y de lino con un 50% de PLA (LPLA). Los tejidos sintéticos empleados fueron de fibra de vidrio tejida (FV-T), poliéster (Pol) y de aramida (Ara). Estos tejidos fueron cortados en unas dimensiones de  $50 \times 75 \text{ mm}^2$  con una superficie de mojado para los ensayos y situación en el soporte dentro de la balanza analítica de  $50 \times 60 \text{ mm}^2$ . Por otra parte, las disoluciones preparadas de NaCl y de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  fueron preparadas a saturación con el fin de evitar cambios en la concentración de las disoluciones.

El procedimiento experimental que se siguió fue el seguido en la norma UNE-EN ISO 9073-6 Textiles. Métodos de ensayo para los no tejidos. Parte 6: Absorción. Donde las muestras se sumergieron en las disoluciones durante un tiempo de  $(60 \pm 1) \text{ s}$ , posteriormente se extrajeron de la disolución y se dejó caer el líquido excedente de los tejidos durante un tiempo de  $(120 \pm 3) \text{ s}$ . Una vez realizado este proceso la muestra de tejido mojada en la disolución correspondiente se situó sobre el soporte en el plato de pesaje registrando la masa inicial. Una vez situada sobre la balanza analítica se fue registrando la pérdida de masa hasta una evaporación completa, dando por finalizado el ensayo de evaporación. Una vez se ha asegurado la evaporación completa de líquido el tejido junto a la sal precipitada es pesado en la balanza analítica con el fin de determinar la cantidad de sales precipitadas en su estructura. Este proceso se repitió para cada tejido natural y sintético y en cada una de las disoluciones durante 15 ciclos de operación.

Estos ensayos con las disoluciones saturadas de NaCl y de  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  se compararon con una evaporación natural de agua destilada con el fin de observar las diferencias en las velocidades de evaporación en los tejidos cuando se encuentran libres de sales.

## RESULTADOS

Los ensayos realizados para los tejidos naturales y sintéticos se comprobaron para los 15 ciclos de operación en presencia de disoluciones saturadas y para su comparación en agua destilada en condiciones ambientales del laboratorio. Los primeros resultados mostraron un comportamiento similar de evaporación en los primeros 5 ciclos de evaporación, donde la presencia de sales no era muy notoria en los tejidos. A partir de los 10 ciclos de trabajo se empezaron a ver diferencias significativas entre las diferentes disoluciones empleadas y las velocidades de vaporación, además de la acumulación de sales en los tejidos. Los resultados de la evaporación para los diferentes tejidos en agua destilada y a los 15 ciclos de evaporación se puede observar en la Figura 1.

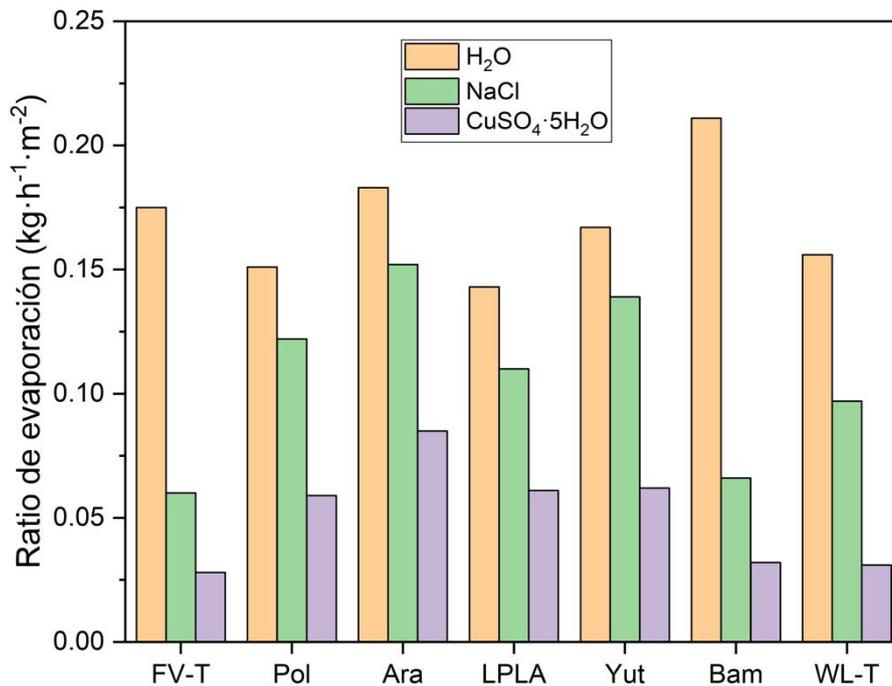


Figura 1. Ratios de evaporación para los tejidos naturales y sintéticos. ■ Agua destilada; ■ NaCl; ■ CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O

Como puede observarse en los resultados obtenidos las ratios de evaporación disminuyen cuando los tejidos son expuestos a las disoluciones saturadas de NaCl y de CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O. Consultando datos bibliográficos se ha comprobado que las disoluciones de sulfato de cobre saturadas tienen una presión de vapor asociada menor que las disoluciones saturadas de cloruro sódico, lo que indicaría que estas disoluciones de cobre deberían de evaporar más rápidamente [4, 5]. A la vista de los resultados se ha observado el efecto contrario para ambas disoluciones, donde la ratio de evaporación del cloruro sódico es mayor en todos los tejidos ensayados frente al sulfato de cobre. Este efecto puede ser debido a que esta sal en estado natural posee una esfera de hidratación con 5 moléculas de agua por cada molécula de sulfato de cobre, indicando que cuando los tejidos evaporan el agua excedente llegando a la fase de precipitación de la sal sobre los tejidos volviendo la sal higroscópica y reteniendo el agua mucho más que la disolución de cloruro sódico, desfavoreciendo el proceso de evaporación natural.

En este ensayo experimental se han presentado los valores de ratios de evaporación máximos, ya que el agua destilada evapora por completo y cuando los tejidos están en presencia de las disoluciones saturadas presentan dos fases de evaporación. En una

primera fase evapora el agua excedente y posteriormente las sales precipitadas sobre los tejidos actúan de fuente higroscópica reteniendo con más fuerza el agua restante. Se han determinado los ratios de evaporación para esta segunda fase y disminuyen drásticamente, siendo para las disoluciones de cloruro sódico un valor para todos los tejidos de 0.005 a 0.007  $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . En el caso de la disolución de sulfato de cobre pentahidratado las ratios de evaporación para todos los tejidos se han estimado en un valor de 0.001  $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ . Se comprobó la acumulación de sales precipitadas en la estructura de los tejidos a lo largo de los ciclos de operación, comprobando que la sal de NaCl se acumulaba en los tejidos de manera lineal sin variar significativamente la masa entre cada ciclo. La sal de  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  mostró un comportamiento diferente en su acumulación, ya que se acumuló rápidamente en los tejidos en los primeros ciclos de operación, pero decreció su masa precipitada en los tejidos al formarse una película sólida en la superficie de los tejidos, volviendo difícil la penetración de la disolución hasta el interior de la estructura de los tejidos.

## CONCLUSIONES

A la vista de los resultados obtenidos se ha observado que los tejidos muestran un ratio de evaporación menor cuando estos son expuestos a las disoluciones saturadas de NaCl y de  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , mostrando la mayor ratio de evaporación para el agua destilada. Se ha observado que los ratios de evaporación del NaCl son ligeramente superiores a los del  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  pese a tener una presión de vapor menor a esta sal y este efecto puede ser debido a la esfera de hidratación que muestra en estado natural. Por otra parte, la acumulación de sales en los tejidos ha mostrado un comportamiento lineal cuando estos son expuestos a la disolución saturada de NaCl, mientras que al ser expuestos a la disolución de  $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$  muestran una mayor acumulación en los primeros ciclos de operación mientras que a medida que estos aumentan su acumulación es mínima y disminuye la capacidad de absorción de los tejidos. Por último, se ha comprobado el uso de los tejidos naturales y sintéticos como una fuente alternativa al tratamiento de aguas residuales concentradas procedentes de aguas salobres o agua de mar con un coste energético mínimo, ya que se basa en la evaporación natural para trabajar en la descarga cero de líquidos.

## REFERENCIAS

- [1] Al-Karaghoul, A. and L.L. Kazmerski, Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013. 24: p. 343-356
- [2] Panagopoulos, A., Brine management (saline water & wastewater effluents): Sustainable utilization and resource recovery strategy through Minimal and Zero Liquid Discharge (MLD & ZLD) desalination systems. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 2022: p. 108944.
- [3] Soliman, M.N., et al., Energy consumption and environmental impact assessment of desalination plants and brine disposal strategies. *Process Safety and Environmental Protection*, 2021. 147: p. 589-608.
- [4] Apelblat, A., The vapour pressures of saturated aqueous solutions of potassium bromide, ammonium sulfate, copper (II) sulfate, iron (II) sulfate, and manganese (II) dichloride, at temperatures from 283 K to 308 K. *The Journal of Chemical Thermodynamics*, 1993. 25(12): p. 1513-1520.

## Aceite epoxidado de Nuez de Brasil como alternativa a los plastificantes de origen petroquímico

**Pérez-Nakai, Aina<sup>(1)</sup>, Lerma-Canto, Alejandro<sup>(1)</sup>, Garcia-Garcia, Daniel<sup>(1)</sup>, Ferri, Jose Miguel<sup>(1)</sup>, Fombuena, Vicent<sup>(1)</sup>**

*(1) Instituto Tecnológico de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València, Campus d'Alcoi, Plaça Ferrándiz i Carbonell, 03801 Alcoi, Alacant. Emails: aipena@epsa.upv.es, allercan@epsa.upv.es, dagarga4@epsa.upv.es, joferaz@upvnet.upv.es, vifombor@upv.es*

### RESUMEN

En este estudio se evalúa por primera vez el potencial de un plastificante derivado del aceite de Nuez de Brasil epoxidado (EBNO) para biopolímeros como el ácido poliláctico (PLA). Para ello, se desarrollaron diferentes formulaciones de PLA con distintas cantidades de EBNO (0-10 phr) y se realizaron ensayos de tracción y de análisis morfológico mediante Microscopía Electrónica de Barrido (FESEM). Los resultados mostraron que el EBNO actúa como un plastificante eficiente para el PLA, ya que se observa un aumento del 71% en la elongación a la rotura aplicando una concentración de 7.5 phr de EBNO. Además, el análisis FESEM reveló un aumento en la porosidad y rugosidad con la adición de EBNO de las muestras obtenidas tras el ensayo de impacto, indicando una rotura dúctil. Estos resultados demuestran que el EBNO puede competir con otros plastificantes comerciales como por ejemplo los ftalatos, lo que lo convierte en una opción prometedora como plastificante de origen bio.

**Palabras clave:** Epoxidación; Aceite de Nuez de Brasil; Ácido Poliláctico; Plastificante.

### INTRODUCCIÓN

El constante aumento del consumo de plásticos y toda la problemática medioambiental que provocan, han derivado en una preocupación generalizada sobre los materiales poliméricos. Algunos de los problemas principales provocados son la acumulación de residuos, la contaminación y el agotamiento del petróleo. Un claro ejemplo de esta problemática son los envases de plástico de un solo uso (bolsas y botellas de plástico, vasos, platos y cubiertos desechables, etc). De hecho, el Programa de las Naciones Unidas (UNEP), ha destacado estos artículos como uno de los principales contaminantes ambientales [1].

En este contexto, el ácido poliláctico (PLA), el cual proviene de la fermentación de azúcares o polisacáridos, se ha convertido en uno de los biopolímeros más utilizados y prometedores como alternativa a los polímeros convencionales en la industria. De todos los biopolímeros (biodegradables y no biodegradables) el PLA representa un 20.7% del mercado [2]. Esta popularidad se debe a su facilidad de procesamiento, sus propiedades mecánicas, transparencia y su precio competitivo en el mercado de los biopolímeros. Sin embargo, el PLA presenta una limitación importante: su alta rigidez y dureza, lo que resulta en una fragilidad que representa un desafío en uno de sus principales sectores, los envases y embalajes.

Una solución efectiva para abordar este problema es la incorporación de plastificantes en el polímero. Aunque los ftalatos (PTs) son los más utilizados, se ha reportado que pueden tener efectos perjudiciales tanto para el entorno natural como para la salud humana [3]. Con el fin de garantizar la seguridad ambiental y de salud, así como para mantener la naturaleza “bio” del polímero, se ha propuesto una alternativa para aumentar la ductilidad mediante el empleo de aceites vegetales modificados químicamente. Estos aceites, que principalmente consisten en triglicéridos, presentan insaturaciones en su estructura que permiten aumentar su capacidad de reacción a través de procesos químicos, como la epoxidación. Este proceso consiste en la introducción de grupos epoxy en los dobles enlaces de carbono presentes en los triglicéridos.

En la literatura se ha encontrado información sobre diferentes aceites epoxidados, como el de linaza o el de soja. Sin embargo, hasta el momento no se ha hallado evidencia respecto al empleo del aceite de Nuez de Brasil en este tipo de aplicaciones, a pesar de que este aceite posee una cantidad elevada de insaturaciones y un gran potencial para su modificación química.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es evaluar por primera vez el potencial del aceite de Nuez de Brasil epoxidado (EBNO) como plastificante en el PLA. Se desarrollan formulaciones con diferentes cantidades de EBNO entre 0 y 10 partes por cien de resina (phr) y se emplean diversas técnicas de caracterización para estudiar su influencia. Estas técnicas consistieron en ensayos mecánicos y ensayos morfológicos.

## MÉTODOS EXPERIMENTALES

### Materiales empleados y preparación de las mezclas de PLA y EBNO

El PLA utilizado es el grado comercial Ingeo™ Biopolymer 3251D de NatureWorks LLC (Minnetonka, MN, USA). Las nueces de Brasil empleadas fueron suministradas por FrutoSeco S. L. (Alicante, España). El aceite se obtuvo por prensado en frío con una extrusora modelo DL-ZYJ05 de Nanchang Dulong Industrial Company (Weifang, China). La epoxidación del aceite se lleva a cabo in situ con peróxido de hidrógeno (30% v/v), ácido acético (99,7) y ácido sulfúrico (97%) suministrados por Sigma-Aldrich (Madrid, España). El EBNO obtenido posee un índice de yodo (IV) de  $95 \text{ g} \cdot \text{l}_2 \cdot (100\text{g})^{-1}$  (ISO 3962).

Para la preparación de las formulaciones de PLA y EBNO, primero se secó el pellet de PLA durante 24h a 40 °C. Después, se llevaron a cabo las diferentes mezclas incorporando EBNO al PLA en 0, 2.5, 5.0, 7.5 y 10 phr. Estas cantidades se establecieron según otros trabajos reportados, ya que indicaron que con cantidades superiores a 10 phr de aceite epoxidado se producía un efecto de saturación [4]. Las composiciones se procesaron en una extrusora de doble usillo (D=30 mm; L/D=20:1) de DUPRA (Alicante, España), con un perfil de temperaturas desde 165 °C en la zona de alimentación hasta 180 °C en la zona final a una velocidad constante de 40 rpm. Tras enfriar y secar durante 24h a 40 °C las mezclas, se hicieron probetas estandarizadas con una inyectora modelo Meteor 270/75 de Mateu & Solé (Barcelona, España) con un perfil de temperaturas de 170/180/190/200 °C desde la sección de alimentación a la boquilla de inyección.

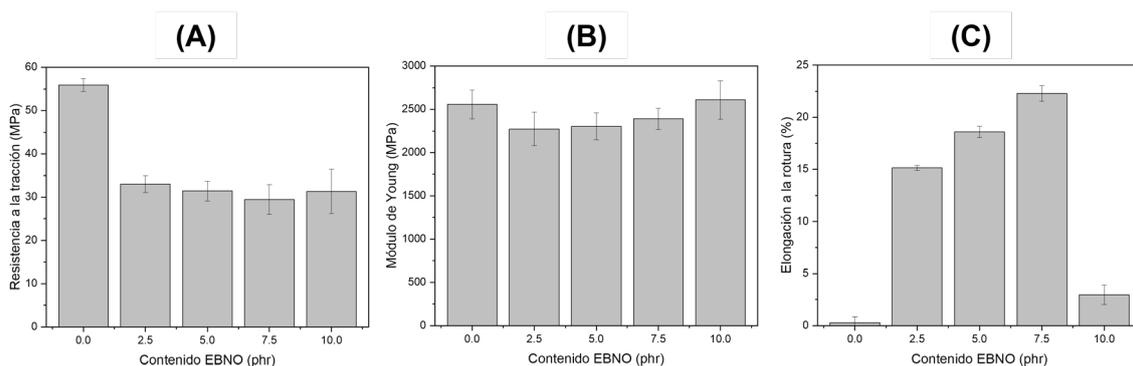
## Ensayos de caracterización

El ensayo tracción se llevó a cabo siguiendo la norma ISO 527. Se empleó una máquina universal de ensayos Ibertest ELIB 30 de SAE Ibertest (Madrid, España) con una célula de carga de 5 kN y una velocidad de  $10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . El ensayo se realizó 5 veces por cada una de las composiciones.

En cuanto al ensayo de FESEM, se realizó sobre las superficies de fractura de los ensayos de impacto utilizando un microscopio electrónico modelo ZEISS ULTRA 55 de Oxford Instruments (Oxfordshire, Reino Unido). Previamente, las muestras se recubrieron con una capa fina de Au-Pd en condiciones de vacío durante 120 s para aumentar la conductividad eléctrica. Las muestras se observaron utilizando un voltaje de aceleración de 2 kV.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se presentan los valores de resistencia a la tracción (A), módulo de Young (B) y elongación a la rotura (C). Se observa en la Figura 1A que al incorporar EBNO al PLA, la resistencia a la tracción disminuye significativamente. Con sólo un 2.5 phr de EBNO, la resistencia a la tracción disminuye de  $55.9 \pm 1.4 \text{ MPa}$  a  $33.0 \pm 2 \text{ MPa}$ . Este fenómeno es consecuencia de la plastificación del mismo. Del mismo modo se observa en la Figura 1B una ligera disminución del módulo de Young con la adición del plastificante, obteniendo una máxima reducción del 11%. Asimismo, se puede apreciar con claridad en la elongación a la rotura (Figura 1C), que las propiedades dúctiles aumentan a medida que se incrementa la cantidad de EBNO incorporado, logrando una elongación de 22.3% para la formulación con 7.5 phr de EBNO, lo que representa un aumento del 70.9% en comparación con el PLA sin plastificar. Sin embargo, al añadir 10 phr, en los tres gráficos se puede observar con cambio en el comportamiento. Este hecho se debe a que, a pesar de que a mayor cantidad de plastificante mayor es la ductilidad, hay un momento en el que el polímero se satura creando un efecto contrario y provocando una rotura prematura, fenómeno conocido como “efecto de antiplasticidad”.



**Figura 1.** Evolución de las propiedades mecánicas del PLA con la adición de EBNO: (A) Resistencia máxima; (B) Módulo de Young; (C) Alargamiento a la rotura

Por otro lado, en la Figura 2A, se puede observar una superficie relativamente lisa, sin signos de deformación plástica, típica de un material rígido. Al añadir EBNO como plastificante, se puede apreciar en la Figura 2B y 2C que las superficies son más rugosas. También se pueden observar pequeñas microesferas huecas causadas por la

adición de aceite (flechas rojas) y la presencia de filamentos (flechas amarillas) por el comportamiento plástico del material. Sin embargo, como aparece en la Figura 2C, una elevada cantidad de filamentos y de huecos, así como su tamaño, pueden ser signos de separación de fases e inmiscibilidad a causa de saturación. Como ya se ha visto en los resultados obtenidos en los ensayos de tracción, esto entorpece la ductilidad, ya que estas zonas son puntos que actúan como concentrador de tensiones.

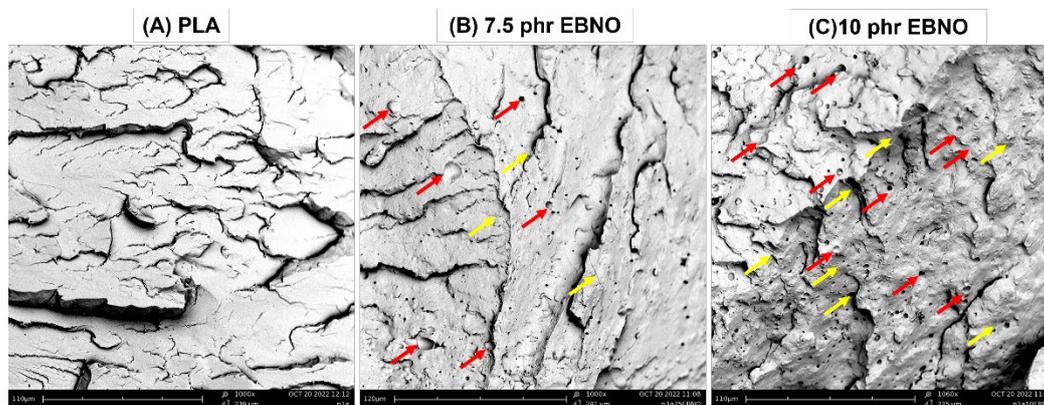


Figura 2. FESEM a 1000x: (A) PLA; (B) PLA con 7.5 phr EBNO; (C) PLA con 10 phr EBNO

## CONCLUSIÓN

Tras procesar y caracterizar diferentes formulaciones de PLA con EBNO, se obtuvieron resultados positivos en cuanto a la mejora de las propiedades dúctiles del polímero. En concreto, el alargamiento aumentó casi un 71 % respecto al PLA sin plastificar, al añadir un 7.5 phr de EBNO. A partir de este porcentaje se observa una saturación por el alto contenido de plastificante, lo cual lleva a obtener un efecto contrario de “antiplastividad”. Esto se confirma con el análisis morfológico mediante el ensayo de FESEM, donde se observa que la superficie cambia de lisa a rugosa con la adición de EBNO y, que con un 10 phr aparecen signos indicativos de esta saturación. Finalmente, se podría concluir con que el EBNO es un plastificante biobasado adecuado para mejorar la ductilidad del PLA y que la cantidad óptima a incorporar es de en 7.5 phr.

## REFERENCIAS

- [1] Giacobelli, C. (2018). Single-use plastics: a roadmap for sustainability (rev. 2).
- [2] *European Bioplastics. Bioplastic materials.* <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/materials/>
- [3] Delacuvellerie, A., Cyriaque, V., Gobert, S., Benali, S., & Wattiez, R. (2019). The plastisphere in marine ecosystem hosts potential specific microbial degraders including *Alcanivorax borkumensis* as a key player for the low-density polyethylene degradation. *Journal of hazardous materials*, 380, 120899. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120899>
- [4] Dominguez-Candela, I., Ferri, J. M., Cardona, S. C., Lora, J., & Fombuena, V. (2021). Dual plasticizer/thermal stabilizer effect of epoxidized chia seed oil (*Salvia hispanica* L.) to improve ductility and thermal properties of poly (lactic acid). *Polymers*, 13(8), 1283. <https://doi.org/10.3390/polym13081283>

## Estudio de fabricación por inversión de fase y caracterización de una membrana de acetato de celulosa

Martínez-Marco, P. <sup>(1)</sup>, Esplugues, S. <sup>(1)</sup>, Grau, J. <sup>(1)</sup>, Hernández, D. <sup>(1)</sup>, Juan, A. <sup>(1)</sup>, Llinares, A. <sup>(1)</sup>, Miranda, M. <sup>(1)</sup>, Muñoz, L. <sup>(1)</sup>, Plasencia, L. <sup>(1)</sup>, Seguí, M. <sup>(1)</sup>, Seis, B. <sup>(1)</sup>, Serrano, P. <sup>(1)</sup>, Unamuno, A. <sup>(1)</sup>, Vargas, T. <sup>(1)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València  
Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi (Alicante)  
email:pabma24p@epsa.upv.es

### RESUMEN

La finalidad de este proyecto es la caracterización de tres membranas compuestas de acetato de celulosa al 9%, 11% y 10%. A esta última, se le adicionó 2.5% de cloruro de litio. Todas las membranas se fabricaron mediante el método de inversión de fase.

La caracterización de las diferentes membranas consistió en la determinación del flux, la permeabilidad, la selectividad mediante un proceso de SDI, determinación del ángulo de contacto mediante el método de goniometría y visualización de los fingers mediante el método Frommer.

Una vez realizadas las caracterizaciones de las membranas, se compraron los resultados donde la membrana con las mejores prestaciones fue la elaborada en un 11% de acetato de celulosa con una permeabilidad de 344 (L/h·m<sup>2</sup>·bar) y una selectividad del 69%.

**Palabras clave:** membrana, acetato de celulosa, cloruro de litio, inversión de fase, flux, índice de rechazo, ángulo de contacto, fingers.

### INTRODUCCIÓN

Una membrana es una barrera física que permite la separación de dos fluidos, haciendo posible el movimiento de diferentes componentes a través de dicha barrera física, posibilitando que algunos componentes pasen a través de ella y restringiendo el paso de otros componentes. [1]

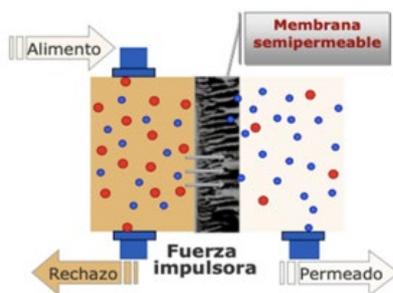


Figura 1. Funcionamiento de una membrana.

En la Figura 5 se puede observar como la corriente de alimentación se divide en dos. El permeado y el rechazo. El permeado, que es el fluido que ha pasado a través de la membrana y por tanto es rico en sustancias que han pasado a través de ella. El rechazo o concentrado, que es el fluido en el que se recogen todas las sustancias que no atraviesan la membrana.

En la actualidad, las membranas han demostrado ser muy eficaces y eficientes en la lucha contra el medio ambiente, al reducir la huella de carbono, su alto rendimiento y la posibilidad de automatización. [2]

## OBJETIVOS

El objetivo principal del presente proyecto es la fabricación de tres tipos de membrana de acetato de celulosa (AC) por el método de inversión de fase [3] variando sus proporciones (9%, 10% y 11%) e implementando la utilización de aditivos como el LiCl y su posterior caracterización.

## MÉTODOS EXPERIMENTALES

### 1. Fabricación de la membrana

Las membranas se fabrican mediante el proceso de inversión de fase. Para la fabricación del colodión, se utiliza el N-dimetilacetamida como disolvente y se añaden las diferentes cantidades de acetato de celulosa. Además, en la membrana del 10% de acetato de celulosa se añade un 2.5% de Cloruro de Litio. Para la fabricación de la membrana, como coagulante se ha utilizado el agua produciendo así la precipitación del colodión sobre el soporte de la membrana.

### 2. Caracterización de las membranas

#### Determinación del flux y permeabilidad

Se ha medido el flux de las membranas a diferentes presiones, para ello, se mide el volumen de agua que pasa a través de la membrana en función del tiempo. Después, se realiza una gráfica donde ajustan los resultados usando una regresión lineal. La pendiente de la recta representa el caudal en L/h. Con este valor y el área de la membrana se calcula el flux de la membrana a esa presión. Con los valores adquiridos del flux se realiza un gráfico representando éstos en función de la presión. En ese gráfico se realiza una regresión lineal y de la ecuación de la recta, la pendiente indica la permeabilidad de la membrana en  $L/(h \cdot m^2 \cdot bar)$ .

#### Determinación de la selectividad

Para determinar la selectividad se ha utilizado una disolución al 2% de PEG 35 kDa. Inicialmente, se mide el índice de refracción de esta disolución, se hace pasar por la membrana a una presión de 2 bares y se mide de nuevo el índice de refracción que sale como permeado, para así calcular la selectividad de la membrana.

#### Análisis estructural de las membranas mediante el método Frommer

Para estudiar el proceso de precipitación de una forma visual se ha utilizado un microscopio óptico. Para ello se ha colocado una gota de colodión y una gota de agua a una distancia cercana sobre un portaobjetos, una vez que han entrado en contacto se han observado los fingers.

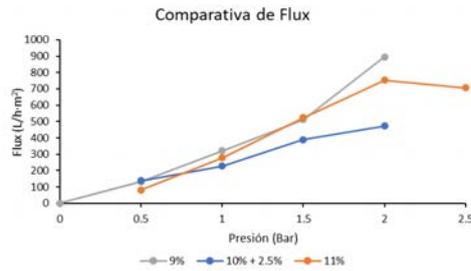
#### Determinación del ángulo de contacto

Se ha determinado la hidrofiliidad/hidrofobicidad de la membrana mediante el ángulo de contacto usando el método de goniometría.

#### Técnicas térmicas

Se ha completado la caracterización de las membranas utilizando los métodos de DSC para un análisis térmico del AC.

## RESULTADOS



**Figura 2.** Resultados del flux de las membranas

Como se observa en la Figura 6 a una presión más elevada encontramos valores más elevados de flux. Si se comparan los resultados de flux en función de la concentración de AC observamos que a medida que se aumenta la concentración, disminuye el valor de flux. Además, se observa que la adición del LiCl hace que mejore el flux de la membrana.

Los valores de permeabilidad y selectividad se muestran en la Tabla 3 :

**Tabla 1.** Resultados obtenidos de las tres membranas.

Membrana	Concentración AC (%)	Permeabilidad (L/h·m <sup>2</sup> ·bar)	Selectividad (%)
1	9	433.83	50
2	10 + 2.5 LiCl	233.06	28.5
3	11	344	69

Es de destacar el papel del aditivo LiCl (2.49%) en las membranas de AC ya que mejora notablemente la permeabilidad, pero el rechazo se ve afectado, ya que disminuye en comparación a las otras dos membranas. Hay que remarcar también que las membranas alcanzan un nivel de permeabilidad de ultrafiltración

En cuanto a la visualización de fingers, se obtiene la Figura 7, la Figura 8 y la Figura 9.



**Figura 3.** Membrana 9% AC.



**Figura 4.** Membrana 10% AC + 2.5% LiCl.



**Figura 5.** Membrana 11% AC.

En cuanto a la formación de fingers se puede observar que en la membrana de AC al 11% se puede distinguir de una manera muy marcada la capa activa en comparación a la membrana con el aditivo. También, el uso de agua fría mejora la formación de los fingers a necesitar más tiempo para la formación de estos.

Finalmente, tras medir el ángulo de contacto de las tres membranas se obtiene la Tabla 4: Se observa que la adición de acetato de celulosa hace que disminuya el ángulo de contacto, por lo que la membrana pasa de ser hidrófoba a ser hidrófila.

Tabla 1. Resultados goniometría.

Membrana	Concentración AC (%)	Ángulo de contacto (°)
1	9	49,35 ± 2
2	10 + 2.5% LiCl	48,58 ± 2
3	11	40 ± 2

Por otro lado, se analizaron las propiedades térmicas del acetato de celulosa mediante un ensayo DSC con un rango de 30-350°C a 10°C/min como muestra la Figura 7:

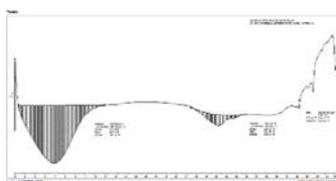


Figura 6. Diagrama DSC acetato de celulosa.

En él se observa una primera curva endotérmica a 69°C indicativo de que la humedad que contiene la membrana se está evaporando. Seguidamente a unos 231°C se observa otro pico endotérmico propio de la temperatura de fusión del material, así como la temperatura de ignición de la celulosa. Por último a 312°C se encuentra una curva exotérmica que indica la temperatura de degradación del AC.

## CONCLUSIONES

Se comprobó mediante la técnica de inversión de fase que es posible fabricar membranas semipermeables porosas de acetato de celulosa de una forma sencilla. Se han obtenido permeabilidades en las membranas para las distintas presiones de trabajo (0.5-2.5 bar) de entre 230 y 430 L/h·m<sup>2</sup>·bar, indica que es posible fabricar membranas de ultrafiltración. Asimismo, se comprobó que, la membrana con mayor % de selectividad frente al PEG 35KDa fue la membrana con mayor porcentaje de acetato de celulosa, llegando hasta un 69% de índice de rechazo de PEG. Por último, el papel del aditivo LiCl (2.5%) en las membranas de AC ha mejorado notablemente la permeabilidad a pesar de disminuir el rechazo. Comparando las tres membranas, se llega a la conclusión de que la membrana con las mejores prestaciones es la elaborada en un 11% de acetato de celulosa con una permeabilidad de 344 (L/h·m<sup>2</sup>·bar) y una selectividad del 69%.

## REFERENCIAS

- [1] Gozávez Zafrilla, J. M. (2009). Fabricación de membranas de acetato de celulosa aptas para osmosis inversa y nanofiltración mediante el método de inversión de fase (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- [2] Baker, R.W. Membrane Technology, Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology; JohnWiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, 2000.

## Extracción de compuestos fenólicos procedentes de las lias de vino mediante procesos de nanofiltración.

**Reig Valor, Miguel Jorge<sup>(1)</sup>, Rozas Martínez, Javier<sup>(1)</sup>, López Borrell, Alexis<sup>(2)</sup>,  
López Pérez, María Fernanda<sup>(2)</sup>, Cardona Navarrete, Salvador Cayetano<sup>(2)</sup>**

*(1) Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante) e-mail: mjreival@epsa.upv.es*

*(2) Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM), Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante)*

### RESUMEN

La industria vitivinícola es un sector de gran importancia en la economía e industria españolas, suponiendo cuantiosos ingresos económicos anuales. Sin embargo, un gran problema que presenta este tipo de industria es la cantidad de residuos que se generan, alcanzando millones de toneladas producidas al año durante las etapas de vendimia, concretamente. Estos residuos están constituidos por materia orgánica que puede ser de potencial interés industrial, ya que son origen de compuestos como los taninos o el ácido tartárico. No obstante, los compuestos más interesantes y en los que se centra este estudio son los polifenoles, sustancias caracterizadas por sus excelentes propiedades antioxidantes que los hacen ideales para su uso en las industrias alimentaria, cosmética y farmacéutica. Para su extracción, se estudia el empleo de técnicas modernas, como la tecnología de membranas, basada en la separación de compuestos atendiendo a su tamaño, centrándose, principalmente, en el uso de membranas de nanofiltración (NF). Con este trabajo, se identifica y valida el modelo matemático que justifica el comportamiento de una membrana polimérica de NF con el filtrado de residuos de vinazas pretratadas y la cuantificación de los polifenoles extraídos de dicho filtrado mediante la técnica analítica colorimétrica de Folin-Ciocalteu.

**Palabras clave:** polifenoles; lias; vino; tecnología de membranas; nanofiltración.

### INTRODUCCIÓN

Los polifenoles son sustancias químicas orgánicas encontradas en la naturaleza, especialmente en plantas y alimentos vegetales. Estas moléculas están caracterizadas por presentar en su estructura uno o varios grupos fenólicos, los cuales les proporcionan excelentes propiedades beneficiosas para la salud. Existen más de 10.000 especies de compuestos fenólicos identificadas, las cuales pueden clasificarse atendiendo a diferentes criterios: según su origen, distribución en la naturaleza, función biológica o estructura química [1]. Este tipo de sustancias ha ganado mucha importancia en los últimos años, debido a que presentan una serie de propiedades que hacen de estas especies un gran atractivo en las industrias cosmética, alimentaria y farmacéutica, entre otras. Algunas de las propiedades que los polifenoles presentan más destacadas y estudiadas son las excelentes capacidades antioxidantes, antiinflamatorias, vasodilatadoras, anticancerígenas o los efectos antienvjecimiento [2].

Los polifenoles se encuentran presentes en numerosas plantas y productos, como son la oliva, el té o el vino, siendo los residuos de las vinazas producidas con la fermentación del vino los que se estudiarán debido a su elevada concentración de estos compuestos

y la importancia de esta industria en el sector industrial español [3]. Dicha industria genera cuantiosas cantidades de residuos, por lo que su revalorización supondría la posibilidad de disminuir dichos residuos y de generar productos de alto valor añadido. Su extracción se puede llevar a cabo mediante técnicas modernas, como es la tecnología de membranas, cuyo principio se basa en permitir el paso de aquellas moléculas que presenten un tamaño de partícula concreto, siendo las partículas restantes rechazadas. Así, es posible extraer compuestos fenólicos deseables de pequeño tamaño molecular y ser comercializados en industrias interesadas en éstos.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la extracción de compuestos fenólicos procedentes de las vinazas residuales del proceso de elaboración del vino mediante el uso de la tecnología de membranas, concretamente de nanofiltración (NF). Además, se plantea como objetivos secundarios la caracterización de la membrana empleada para la extracción de polifenoles presentes en las vinazas del vino, además de obtener y ajustar una expresión que justifique el comportamiento de una membrana polimérica de nanofiltración ante la filtración de dichos residuos. Por otro lado, se desea cuantificar la cantidad de compuestos fenólicos extraídos tras el proceso de filtración mediante técnicas analíticas para verificar la efectividad de este tipo de procedimientos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Para los ensayos experimentales realizados en el laboratorio se hizo uso de una sección de una membrana polimérica FilmTech™ NF270-2540 de la casa comercial DuPont, que permite el paso de partículas de un tamaño de 340 Da, junto con un módulo de membranas cuyo modelo es el CF042SS CELL elaborado por la empresa Sterlitech con un área activa de membrana disponible de 42 cm<sup>2</sup>. Los ensayos de caracterización de la membrana se llevaron a cabo filtrando agua destilada como alimento a una temperatura constante de 20°C y a una presión transmembranal (PTM o  $\Delta P$ ) de 4.5, 9.5 y 14.5 bar. Por otro lado, los ensayos de extracción de polifenoles se ejecutaron en unas condiciones controladas de 20°C y una presión transmembranal de 9.5 bar. En estos ensayos, se ha registrado la diferencia de peso del permeado obtenido para determinar el flux medido en periodos de muestreo de 30 s, haciendo uso de la interfaz LabView.

El volumen que se ha tomado como alimentación se trata de residuos de vinazas procedentes de una industria vitivinícola a los cuales se les ha aplicado un tratamiento previo por ultrafiltración para eliminar las partículas de mayor tamaño y evitar obstruir en gran medida la membrana utilizada. Estos residuos fueron almacenados en un frigorífico para evitar la posible degradación de los compuestos fenólicos tras los ensayos de filtración, debido a su sensibilidad a las temperaturas elevadas.

La cuantificación de compuestos fenólicos se ha llevado a cabo mediante el uso de la técnica colorimétrica basada en el uso del reactivo de Folin-Ciocalteu, donde la medida de la absorbancia en un espectrofotómetro es directamente proporcional al contenido de polifenoles. Para ello, se ha empleado un Espectrofotómetro Thermo Spectronic Helios  $\delta$  a una longitud de onda de 765 nm. La determinación de la concentración a partir de la absorbancia se ha realizado mediante una recta de calibrado elaborada por otros autores en base al tirosol como compuesto analizado [4].

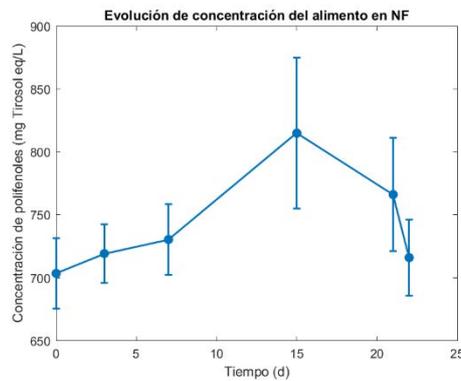
## RESULTADOS

### Caracterización de la membrana NF270-2540

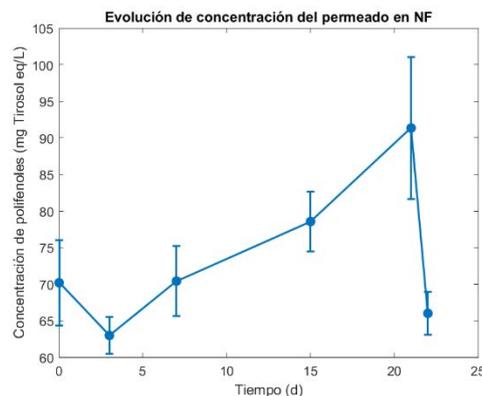
Una vez realizados los ensayos de permeabilidad con la membrana polimérica en las condiciones indicadas anteriormente, se toma el flux promedio para cada una de las condiciones. Los resultados de éstos son de 58.70, 71.69 y 123.68 L/m<sup>2</sup>·h a presiones transmembranales de 4.5, 9.5 y 14.5 bar, respectivamente. Ajustando estos datos a una recta que pase por el origen de ordenadas, se determina el parámetro de permeabilidad característico de la membrana. El valor de dicho parámetro resulta de  $8.538 \pm 0.883$  L/bar·h·m<sup>2</sup>, con un coeficiente de regresión de 0.979, el cual verifica la viabilidad del ajuste. Este valor es de similar orden de magnitud al determinado en otros estudios [4].

### Evolución de la concentración de polifenoles

La variación de la concentración de polifenoles medidos en mg de tirosol/L determinados mediante la técnica de Folin-Ciocalteu tanto en el alimento utilizado como en el permeado obtenido en cada ensayo realizado se observa la **Error! Reference source not found.** y **Error! Reference source not found.**



**Figura 1.** Evolución temporal de la concentración de polifenoles en el alimento de NF



**Figura 2.** Evolución temporal de la concentración de polifenoles en el permeado de NF

Se puede observar que, a grandes rasgos, la concentración en cada ensayo se mantiene en un rango de 700 y 850 mg de tirosol eq/L para el alimento y de 60 y 92 mg de tirosol eq/L en el permeado. Es menester destacar el error de medida presente en cada dato, debido principalmente al error cometido en la preparación de las muestras a analizar. Por otro lado, en este tipo de procesos se emplea el concepto de rechazo (R) para cuantificar el número de compuestos que no pueden atravesar la membrana y son

reintroducidos en el alimento, al igual que para estudiar la efectividad del sistema de filtración, cuyo cálculo viene dado por la ecuación expuesta a continuación:

$$R = 1 - \frac{C_{permeado}}{C_{alimento}}$$

Este dato resulta de promedio en un rechazo de  $90.14 \pm 0.45\%$ . Esto supone que una gran proporción de los polifenoles presentes en el alimento de NF son incapaces que atravesar la membrana polimérica y son reintroducidos en el alimento, siendo el resto partículas lo suficientemente pequeñas como para atravesar la membrana.

### Ajuste del modelo de nanofiltración

Con el objetivo de estudiar y aproximar el comportamiento de la membrana polimérica estudiado con el filtrado de residuos de vinazas pretratados, se hace uso de un modelo que permite su justificación, el cual viene indicado en la siguiente expresión.

$$J_v = L_p \cdot (\Delta P - \sigma \cdot R \cdot T \cdot (C_F - C_P)) \cdot \exp\left(\frac{J_v}{k}\right)$$

Empleando como datos experimentales de ajuste los resultantes de un ensayo a  $20^\circ\text{C}$  y TMP de 9.5 bar con un  $J_v$  de  $25.284 \text{ L/m}^2\cdot\text{h}$ , asumiendo un coeficiente de reflexión ( $\sigma$ ) de 0.999,  $R$  siendo la constante universal de los gases ideales y valores de las concentraciones de polifenoles de alimento ( $C_F$ ) y de permeado ( $C_P$ ) de 950 y 80 mg de tirosol eq/L, respectivamente. Una vez indicados los parámetros influyentes, con el ajuste se determina un coeficiente de transferencia de materia ( $k$ ) de  $6.737 \text{ L/m}^2\cdot\text{h}$ .

## CONCLUSIONES

Una vez analizados los resultados obtenidos experimentalmente, es posible llegar a la conclusión de que los procesos de filtración mediante el uso de la tecnología de membranas permiten extraer polifenoles satisfactoriamente a partir de una corriente de residuos de vinazas pretratada, pudiendo ofrecerse como una posible fuente de productos de alto valor añadido para empresas dedicadas a la producción de vino. Por otro lado, se ha caracterizado una membrana polimérica de NF e identificado un modelo que explica el comportamiento de dicha membrana con el proceso de filtración de residuos de vinazas pretratados. Por último, se ha comprobado que tras la filtración de los residuos de vinazas pretratados se obtiene un rechazo promedio de  $90.14 \pm 0.45\%$ .

## REFERENCIAS

- [1] Belščak-Cvitanović, A., Durgo, K., Huđek, A., Bačun-Družina, V., & Komes, D. (2018). Overview of polyphenols and their properties. *Polyphenols: Properties, Recovery, and Applications*, 3-44. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813572-3.00001-4>
- [2] Xia, E. Q., Deng, G. F., Guo, Y. J., & Li, H. Bin. (2010). Biological Activities of Polyphenols from Grapes. *International Journal of Molecular Sciences* 2010, Vol. 11, Pages 622-646, 11(2), 622-646. <https://doi.org/10.3390/IJMS11020622>
- [3] Federación del Vino. *El sector en cifras – Vinos DO*. <https://vinosdo.wine/sala-de-prensa/el-sector-en-cifras/>
- [4] López-Borrell, A., López-Pérez, M.-F., Cardona, S. C., & Lora-García, J. (2022). *membranes Experimental Study and Mathematical Modeling of a Nanofiltration Membrane System for the Recovery of Polyphenols from Wine Lees*. <https://doi.org/10.3390/membranes12020240>

## Atribución cronológica a paquetes arqueológicos mediante métodos de inteligencia artificial.

**Jiménez-Puerto, Joaquín<sup>(1)</sup>, Trull Domínguez, Óscar<sup>(2)</sup>**

(1) *Departament de Prehistòria, Arqueologia i H. Antiga (PREMEDOC Research Group). Universitat de València. Av / Blasco Ibáñez 28, 46010, Valencia, Spain. [joaquin.jimenez@uv.es](mailto:joaquin.jimenez@uv.es)*

(2) *Dept. of Applied Statistics, Operational Research and Quality. Universitat Politècnica de València. C/ Cami de Vera S/N, Valencia, Spain, [otrull@eio.upv.es](mailto:otrull@eio.upv.es)*

### RESUMEN

La atribución cronológica de colecciones superficiales arqueológicas es un proceso de gran incertidumbre y dificultad. La disposición de los hallazgos, la diversidad de sus localizaciones añadido a la necesidad de datación indirecta hace que su atribución resulte aún más complicada.

La utilización de la inteligencia artificial en este campo es relativamente novedosa, pero tiene un gran potencial. La utilización de redes neuronales y otras técnicas de *Machine Learning* está permitiendo superar barreras que los modelos tradicionales no pueden resolver.

En este artículo presentamos el proceso llevado a cabo para poder determinar la atribución cronológica a diversos paquetes arqueológicos de la Comunitat Valenciana. El conjunto se compone de puntas de flecha líticas bifaciales, asociadas al III y IV milenio cal. BC. Para realizar la atribución cronológica, se han explorado las posibilidades de modelos de *Machine Learning* para resolver la cuestión planteada. Para ello se han probado técnicas de regresión y de clasificación, a partir de un conjunto de niveles arqueológicos con cronologías bien conocidas, que contienen puntas de flecha, se ha podido determinar la datación de otros conjuntos de cronología indeterminada inicialmente.

**Palabras clave:** puntas de flecha, Calcolítico, atribución cronológica, *Machine Learning*.

### INTRODUCCIÓN

Las puntas de flecha líticas son un artefacto muy abundante en el registro arqueológico peninsular, durante el Neolítico Final-Calcolítico, que además presenta diferencias diacrónicas y geográficas. Estudiar su atribución cronológica permite conocer nuestro pasado, aunque no está exento de incertidumbre.

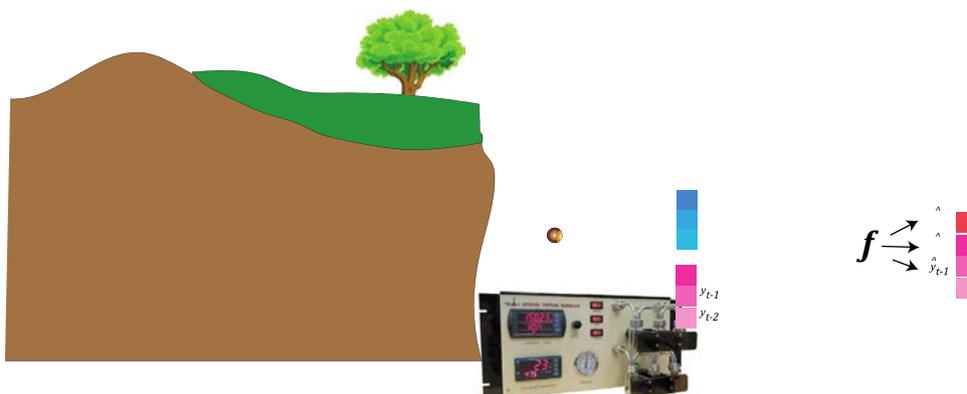
Las características asociadas a estos procedimientos pueden ser especialmente relevantes para el estudio de materiales arqueológicos, que muchas veces están clasificados tipológicamente. La relación entre estas categorías muchas veces es compleja, así como su posible significado cultural o cronológico, siendo este último especialmente sensible en aquellos casos en los que se carece de una datación por C14 asociada. En esos casos – que representan casi el 80% de los datos a tratar en este trabajo –, es de gran interés disponer de un método científico que permita asociar dichas colecciones arqueológicas con un periodo cronológico determinado.

La utilización de herramientas bayesianas ofrece grandes resultados [1], [2], aunque no están exentos de problemas, derivados muchas veces de la propia naturaleza de los datos. Los métodos basados en IA son empleados para multitud de tareas, aunque su empleo en la disciplina arqueológica es aún incipiente y esta lejos de representar un *corpus* homogéneo [3], [4].

En este trabajo se realiza una aproximación al empleo de técnicas procedentes del *Machine Learning*, para atribución cronológica de contextos arqueológicos carentes de determinación por radiocarbono, mediante inteligencia artificial (IA), explorando su potencial clasificador y predictivo. El conjunto para procesar consiste en datos tipológicos de puntas de flecha líticas bifaciales, asociadas al III y IV milenio cal BC.

## METODOLOGIA

El proceso de determinación cronológica se divide en tres fases fundamentales. La primera fase consiste en la recolección de información arqueológica, principalmente de fondos bibliográficos, de yacimientos situados en las cuencas hidrográficas del Júcar y el Segura, para su posterior clasificación tipológica (Ver Figura 1). Muchos proceden de excavaciones arqueológicas, pero un gran número provienen de rebuscas clandestinas o de contextos poco claros cronológicamente hablando.



**Figura 1.** Procesos de obtención de la atribución cronológica.

La segunda fase consiste en la determinación de la edad de aquellos niveles arqueológicos de los cuales se pueda extraer una datación por radiocarbono de vida corta. Este conjunto de dataciones se obtiene en diversas localizaciones y diferentes estratos, con una gran variedad de posibilidades (semillas o huesos principalmente). Este conjunto es el que servirá de base para la generación de los modelos, y se ha denominado conjunto *a priori*.

La tercera fase implica la generación de los modelos a utilizar para la datación y la atribución cronológica a los elementos sin datar. La cronología de los niveles arqueológicos del conjunto *a priori* abarca radiodeterminaciones desde el año 4600 hasta 3500 BP (sin calibrar). Este conjunto consta de apenas 55 unidades y ha servido para generar los modelos de inteligencia artificial. Un subconjunto ha servido para el entrenamiento de los métodos, mientras que otro subconjunto (15%) ha servido para la validación y test.

Una vez los modelos han sido generados, se ha realizado la datación a un total de 326 objetos.

Se han realizado dos metodologías diferentes para la atribución cronológica. Una cuantitativa con el propósito de determinar la edad de los objetos, y otra cualitativa para determinar la época. La primera se ha realizado mediante modelos de redes neuronales y máquinas de vector soporte, mientras que para la segunda se han utilizado modelos de árboles *bagged ensemble* y redes neuronales *k-nearest*.

## RESULTADOS

Para medir la eficacia de los modelos propuestos, se ha recurrido a la comparación entre las predicciones propuestas. Para el caso de la datación, se ha calculado la desviación típica de las predicciones, eliminando las predicciones aberrantes. En la Figura 2 se muestra el resultado.

**Distribución de la desviación típica**

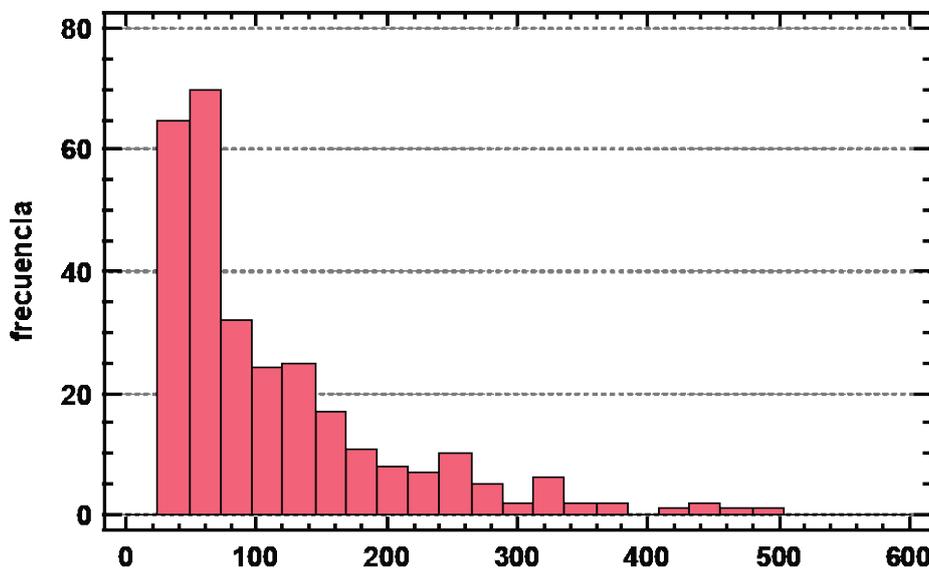


Figura 2. Distribución de la desviación típica de las predicciones dadas por los modelos.

En el caso de la clasificación, se ha observado los grupos obtenidos de respuestas dispares, como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Grupos.

Grupos	1	2	3	4
	52.63%	39.32%	8.05%	0%

Se puede observar como los resultados proporcionados en ambos métodos son congruentes y eficaces. La datación mediante los modelos de regresión ofrece más de un 65% de predicciones con desviación típica inferior a 100 años entre todos los modelos utilizados. Esto resultará de utilidad ya que aquellas desviaciones mayores a 100 serán descartadas debido al alto grado de incertidumbre que introducen en la calibración. Para el caso de la clasificación, en más del 50% de los casos, todos los modelos han predicho el mismo atributo cronológico.

## CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN

La utilización de la inteligencia artificial para realizar atribuciones cronológicas de niveles arqueológicos carentes de ella permite incorporar a los análisis posteriores de un gran número de elementos a partir de unas pocas mediciones realizadas con métodos de radiocarbono. En este artículo hemos utilizado métodos de regresión y clasificación para datar un conjunto de más de 300 unidades a partir de uno pequeño de apenas 50. En el futuro se pretende seguir afinando el método, que se encuentra en una fase inicial, lo que permitiría ampliar sustancialmente las muestras empleadas en los análisis arqueológicos, gracias a la incorporación de contextos procedentes de excavaciones carentes de dataciones fiables.

Los resultados muestran que esta metodología puede tener un fuerte impacto en la forma de atribuir cronológicamente nuevos elementos. Estas conclusiones sólo son efectivas para este conjunto dado, pero en el futuro puede extenderse a conjuntos mayores y a otros elementos de cultura material arqueológica tales como cerámica o artefactos metálicos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Consellería de Educación, Cultura y Deporte de la Generalitat de València por la financiación del proyecto NeoNetS “A Social Network Approach to Understanding the Evolutionary Dynamics of Neolithic Societies (C. 7600-4000 cal. BP)” (Prometeo/2021/007).

## REFERENCIAS

- [1] Armero, Carmen; Gonzalo García-Donato; Joaquín Jimenez-Puerto; Salvador Pardo-Gordó; and Joan Bernabeu; (2020). “Bayesian classification for dating archaeological sites via projectile points.” *SORT*. vol. 45, no. 1. pp. 33–46.
- [2] Pardo-Gordó, Salvador; Joan Bernabeu Aubán; Joaquín Jiménez-Puerto; Carmen Armero; and Gonzalo García-Donato; (2022). “The chronology of archaeological assemblages based on an automatic Bayesian procedure: Eastern Iberia as study case.” *J. Archaeol. Sci.* vol. 139. p. 105555, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2022.105555>.
- [3] Ramacciotti, Mirco; *et al.*; (2022). “Non-destructive characterisation of dolerite archaeological artefacts.” *Microchem. J.* vol. 183. p. 108080, doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.108080>.
- [4] Caspari, Gino; and Pablo Crespo; (2019). “Convolutional neural networks for archaeological site detection – Finding ‘princely’ tombs.” *J. Archaeol. Sci.* vol. 110. p. 104998, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.104998>.

## ¿Docencia o juego? El desarrollo de soft skills con actividades de gamificación

Orero-Blat, Maria<sup>(1)</sup>, Martínez, Aaron<sup>(1)</sup>, Ribes-Giner, Gabriela<sup>(1)</sup>

(1) *Departamento de Organización de Empresas, Universitat Politècnica de València (UPV), [morebla@upv.es](mailto:morebla@upv.es), [aamarmar@etsid.upv.es](mailto:aamarmar@etsid.upv.es), [gabriqi@omp.upv.es](mailto:gabriqi@omp.upv.es)*

### RESUMEN

En respuesta a los desafíos del cambio social y tecnológico, los profesores de educación superior buscan actualizar sus métodos de enseñanza con técnicas innovadoras. La gamificación se ha convertido en una metodología en crecimiento que puede mejorar las experiencias de enseñanza y aprendizaje al transformar los elementos convencionales utilizando dinámicas de juegos. En un estudio realizado en la Universidad Politécnica de València, se implementaron estrategias de gamificación en las asignaturas de empresa y recursos humanos.

Los estudiantes participaron en actividades gamificadas donde aplicaron conceptos teóricos de manera vivencial y desarrollaron habilidades blandas como el liderazgo, el trabajo en equipo y la creatividad. Los objetivos eran reforzar los conocimientos teóricos, aumentar la motivación y el compromiso, y mejorar habilidades como la presentación oral.

Los resultados revelaron que estas prácticas gamificadas fueron efectivas para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Los estudiantes mostraron mayor compromiso, motivación y lograron desarrollar habilidades cruciales para su éxito académico y profesional. Estas experiencias resaltan la importancia de la gamificación como una estrategia innovadora en la educación superior, adaptándose a las demandas de la sociedad actual y promoviendo el desarrollo integral de los estudiantes.

**Palabras clave:** gamificación, soft skills, empresa, recursos humanos,

### INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En los últimos años, los profesores de educación superior han buscado actualizar sus métodos de enseñanza incorporando técnicas y herramientas educativas innovadoras, como la gamificación (Fernández, 2006; Albort-Morant et al., 2022). Esta práctica promueve el desarrollo de competencias blandas, como el trabajo en equipo, el liderazgo, el pensamiento crítico y la creatividad, son fundamentales en el mundo laboral actual (March, 2006; Grullón, 2023).

La gamificación se refiere a una experiencia educativa inmersiva en la que se aplican principios basados en dinámicas de juegos para fomentar la motivación y el proceso de aprendizaje de forma atractiva y efectiva (Torres-Toukoumidis et al., 2018). Según Marczewski (2013) implica la utilización de metáforas de juegos en situaciones de la vida real con el objetivo de influir en el comportamiento, así como mejorar la motivación y el compromiso.

La adopción de enfoques innovadores en la educación superior, como la gamificación, es esencial para adaptarse a los nuevos desafíos y demandas de la sociedad (Pascuas et al., 2017; Albort-Morant et al., 2022). En la UPV, se han planteado actividades de

gamificación en asignaturas de empresa y recursos humanos para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje, desarrollando soft skills.

Alumnos de segundo y quinto curso participaron en clases prácticas gamificadas, aplicando los conceptos teóricos previamente estudiados y trabajando en el desarrollo de soft skills clave para el aprendizaje por competencias. Los objetivos de estas prácticas eran: reforzar los conocimientos teóricos del alumnado vistos en clase; aumentar su motivación y compromiso con la asignatura, para preparar mejor los exámenes finales; y desarrollar algunas soft skills, tan importantes en la vida profesional.

Los estudiantes del doble grado de ADE y Telecomunicaciones participaron en una sesión de trabajo en equipo utilizando la metodología Belbin de roles de equipo. Realizaron diversas dinámicas, incluyendo acertijos, mini "escape rooms", pruebas de coordinación y la dinámica del aterrizaje del huevo, protegiendo un huevo lanzado desde un edificio. Por otro lado, los estudiantes de ADE e Ingeniería Mecánica participaron en una actividad con la metodología de los "bloques de colores", diseñando productos de acuerdo con las exigencias del mercado y presentándolos, recibiendo consejos y requisitos relacionados con sostenibilidad y herramientas digitales.

En la segunda sesión de ambas clases, debían exponer cómo fue su trabajo en la sesión práctica, así como destacar sus aprendizajes.

## METODOLOGÍA

Tras realizar las clases prácticas, las profesoras realizaron una encuesta realizada mediante la plataforma online *Google Forms*, para conocer una serie de datos. Se estructuró de la siguiente forma: primero, se les preguntó por diferentes afirmaciones relacionadas con los objetivos del taller en cuanto a desarrollo y trabajo de sus *soft skills* y compromiso y motivación, con una escala Likert 1-, siendo 1 totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo (Tabla 1). La escala fue utilizada en Albort-Morant (2022) y está basada en Cupchak y May (2021), Al Jahromi (2020).

**Tabla 1:** Preguntas encuesta

1 <sup>a</sup>	La actividad me ayudó a comprender mejor los conceptos teóricos.
2 <sup>a</sup>	La actividad contribuyó a aumentar mi motivación respecto a la asignatura.
3a	La actividad contribuyó a que aumentara mi compromiso con la asignatura.
4a	La actividad contribuyó a aumentar mi compromiso con el aprendizaje.
5a	La actividad aumentó mis habilidades de trabajo en equipo.
6a	La actividad aumentó mis habilidades de liderazgo.
7a	La actividad aumentó mis habilidades de creatividad y pensamiento divergente.
8a	La actividad aumentó mis habilidades de presentación oral.
9a	Evaluación de la actividad

En la segunda parte de la encuesta, se pedía expresar libremente y de forma anónima lo que pensaban sobre las actividades realizadas. En primer lugar, preguntamos cómo se sintieron después de la presentación oral dando tres opciones: "Aliviado de haber terminado", "Bien por su desempeño", "Feliz de haberlo compartido con el resto". En segundo lugar, se les permitió a los alumnos opinar de manera abierta para así conocer posibles sugerencias, comentarios, y satisfacción general con esta práctica de innovación docente.

**Muestra analizada**

Se recopilaron 78 respuestas de estudiantes pertenecientes a dos grados y un doble grado. El 56,4% (44 alumnos) eran hombres, el 41,0% (32 alumnos) mujeres y el 2,6% (2 alumnos) no revelaron su género. La distribución por grado fue del 39,7% (31 alumnos) estudiaba el segundo curso de ADE, el 32,1% en segundo curso de Ingeniería Mecánica, el 17,9% (14 alumnos) en quinto curso del doble grado de Telecomunicaciones y ADE, y el 10,3% (8 alumnos) eran de otras titulaciones.

Los participantes del estudio son estudiantes universitarios de segundo a quinto curso de carrera, con una media de edad de 21,4 años para mujeres; 21,5 años para los hombres y de 20 años para los que no revelaron su sexo. En general, se observa que los alumnos de segundo curso son más jóvenes, mientras que los de quinto curso suelen ser más mayores.

Esta muestra representa la población estudiada en el artículo y se procederá al análisis de los resultados obtenidos.

**RESULTADOS**

Tras el análisis de las respuestas obtenidas, los resultados han sido satisfactorios y concuerdan con la literatura. Según la escala seleccionada, Likert de 1 a 5, las medias ponderadas de las habilidades evaluadas están por encima del percentil 70. Se identificaron dos beneficios principales para los alumnos, ambos significativos. En primer lugar, la implementación de estas estrategias aumentó su motivación en relación con la asignatura. Segundo, se observó un incremento en la creatividad y el pensamiento divergente de estos. Sin embargo, los alumnos percibieron que la habilidad de liderazgo recibió menos atención en este contexto.

Al desagregar los datos por grado cursado, se observó que los estudiantes de quinto año de ADE y Telecomunicaciones experimentaron un mayor desarrollo de habilidades en comparación con los demás grupos, que mostraron una mayor homogeneidad. También encontró una correlación significativa entre la motivación del alumno y el grado cursado.

Desagregando los datos por grado y sexo simultáneamente, se observó una diferencia relevante entre hombres y mujeres en el grado de ADE y Telecomunicaciones. Las mujeres percibieron un mayor aumento de habilidades en todas las áreas evaluadas. No se observaron estas diferencias en el resto de los grupos. Además, se encontró una falta de correlación general entre el sexo y la percepción de habilidades adquiridas, excepto en el grupo de quinto año de ADE y Telecomunicaciones. También se identificó que prácticamente todas las habilidades presentan correlaciones entre sí, lo que implica que algunas habilidades aportan valor a otras.

Además de los datos cuantitativos, se analizaron las respuestas abiertas de los alumnos. Se destacaron varios aspectos relevantes, como el exceso de tiempo dedicado a las clases teóricas, lo que generó desmotivación. Los participantes sugirieron reducir la frecuencia de estas clases para aumentar la asistencia y el compromiso con el aprendizaje. También se mencionó la creación de un ambiente competitivo que fomentó la creatividad y añadió valor al proceso de aprendizaje. Los alumnos consideraron que la actividad fue atractiva y divertida, permitiendo un aprendizaje diferente y entretenido. Se sugirió evitar repeticiones excesivas en los temas y actividades, así como fomentar la participación proactiva de todos los miembros del grupo.

## CONCLUSIONES

En este estudio, se han examinado varias estrategias de innovación docente con el objetivo de mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Se observó que estas actividades en el aula potencian la participación proactiva de los estudiantes, favorece un aprendizaje más interactivo y dinámico, aumenta la motivación hacia la asignatura por parte de los estudiantes y facilita la adquisición de habilidades, principalmente la creatividad y el pensamiento divergente.

Estas metodologías, también permiten adaptar la enseñanza a las necesidades y estilos de aprendizaje individuales, personalizando la educación. Además, la formación continua del profesorado resulta fundamental para impulsar la innovación docente de manera efectiva, generando espacios de reflexión y colaboración entre los alumnos, y por tanto, a una mejor experiencia educativa.

Entre las limitaciones del estudio, se encuentran el número de respuestas de los alumnos fue medio-bajo, por lo que se propone realizar encuesta al finalizar la segunda sesión, de forma presencial, además, de realizar entrevistas semiestructuradas para obtener su feedback.

El objetivo es seguir avanzando en actividades de innovación docente en nuestras utilizando más dinámicas de gamificación para conseguir los objetivos de aprendizaje y el desarrollo de sus competencias y soft skills, que preparen mejor a los alumnos en su vida profesional.

## REFERENCIAS

- [1] Al Jahromi, D. (2020). Can Teacher and Peer Formative Feedback Enhance L2 University Students' Oral Presentation Skills? In *Changing language assessment* (pp. 95-131). Palgrave Macmillan, Cham
- [2] Alborn-Morant, G., Masero-Moreno, I. C., & Montero-Benavides, P. (2022). COMBINATION OF ACTIVE METHODOLOGIES TO PROMOTE CONFIDENCE IN THE PREPARATION AND DEFENSE OF THE BACHELOR'S DISSERTATION. A STUDY IN THE DEGREE OF FINANCE AND ACCOUNTING. *Journal of Management and Business Education*, 5(4), 319-344
- [3] Cupchak, D. & May, K.Y.A.W. (2021). *Flipgrid: Creating Video Blogs to Build Fluency*. Nagasaki University
- [4] Fernández, A. (2016). Metodologías activas para la formación de competencias. *Educatio siglo XXI*, 24, 35-36
- [5] Grullón, F. P. (2023). Nuevas tendencias en metodologías docentes: la gamificación en el Grado de Trabajo Social. *Itinerarios de Trabajo Social*, (3), 104-109
- [6] March, A. F. (2006). Metodologías activas para la formación de competencias. *Educatio siglo XXI*, 24, 35-56
- [7] Marczewski, A. (2013). *Gamification: a simple introduction*. Andrzej Marczewski
- [8] Pascuas, Y., Vargas Jara, E., y Muñoz Zapata, J. (2017). Experiencias motivacionales gamificadas: una revisión sistemática de literatura. *Innovación educativa*, 17(75), 63-80
- [9] Torres Toukoumidis, Á., Romero Rodríguez, L. M., & Pérez Rodríguez, M. A. (2018). Modeloteórico integrado de gamificación en ambientes E-learning (E-MIGA). *Revista Complutense de Educación*, 29(1), 129-145.

## Utilización de modelos híbridos nHWT-PSF para la predicción energética eléctrica a corto plazo

Trull Domínguez, Òscar<sup>(1)</sup>, García Díaz, Juan Carlos<sup>(1)</sup>, Peiró Signes, Ángel<sup>(1)</sup>

(1) Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad, UPV.  
[otrull@eio.upv.es](mailto:otrull@eio.upv.es) , [juagardi@eio.upv.es](mailto:juagardi@eio.upv.es), [anpesig@omp.upv.es](mailto:anpesig@omp.upv.es)

### RESUMEN

La predicción de demanda eléctrica es una tarea fundamental para los operadores del sistema de transmisión. La programación de unidades, los precios de la electricidad y la gestión del sistema eléctrico de los países comienza con la predicción de la demanda.

Uno de los principales puntos de atención de la predicción de la demanda es la modelización de los eventos especiales, situaciones que no ocurren de forma habitual (véase festivos, puentes, etc.). La gestión de los eventos se realiza generalmente mediante la modificación de los datos, o con métodos que modifican los modelos.

La utilización de estacionalidad discretas de intervalo móvil (DIMS) es un método eficaz para incluir las irregularidades provocadas por los eventos especiales dentro de los modelos. Se han utilizado con éxito con los modelos de Holt-Winters múltiple estacionales (nHWT).

En este trabajo se presenta un nuevo método híbrido nHWT que incluye inteligencia artificial para modelizar los eventos especiales. Mediante de redes neuronales kNN se obtienen índices para los DIMS y se mejoran las predicciones.

**Palabras clave:** predicción, energía, I.A., Holt-Winters, PSF, kNN, DIMS.

### INTRODUCCIÓN

Los operadores de transmisión del sistema (TSO) requieren cada vez de mayor precisión a la hora de realizar sus predicciones. De ellas depende en gran medida el sistema eléctrico. A partir de la demanda prevista se realizan las ofertas de producción y de consumo de energía, que se consolidan en un pool<sup>1</sup> energético y donde se determina el precio de la energía. Las desviaciones de la demanda prevista con respecto a la realmente demandada ocasiona costes energéticos que deben ser minorizados.

Las herramientas utilizadas por los TSO para realizar predicciones son de muy variada índole [1], [2]. La utilización de modelos de regresión, de suavizado exponencial o de inteligencia artificial son los más comunes en esta área. Todos toman las series temporales univariantes como partida, y, dependiendo de la metodología aplicada, se utilizan o no covariables externas relacionadas con temperatura o relacionadas con la actividad del país [3]. Los métodos que mejor resultado dan en las predicciones de demanda eléctrica a corto plazo son los modelos de suavizado exponencial basado en Holt-Winters múltiple estacional (nHWT) [4].

---

<sup>1</sup> El pool energético se concentra en el operador del mercado eléctrico designado (NEMO), responsable de la casación de ofertas de compra y venta de energía. En España, el operador es OMIE (Operador del Mercado Ibérico, polo Español).

Sin embargo, uno de los principales problemas para realizar predicciones es la necesidad de modelos regulares que puedan reproducirse en el pronóstico. Cualquier irregularidad en la serie, como los eventos especiales, necesitan ser tratados de forma singular. Los eventos especiales suponen un reto para los agentes predictores, ya que suponen una irregularidad en la serie muy marcada por el calendario. Uno de los métodos utilizados con anterioridad es la modelización de los días especiales mediante la utilización de estacionalidades móviles de intervalo discreto (DIMS)[5]. Sin embargo, en algunas ocasiones la metodología no ofrece la precisión que se pretende.

En este artículo se presenta un nuevo modelo híbrido de trabajo basado en los modelos nHWT utilizando DIMS que se calculan utilizando el algoritmo de predicción basado en patrones básicos de secuencias (PSF) con el que mejorar la precisión de las predicciones.

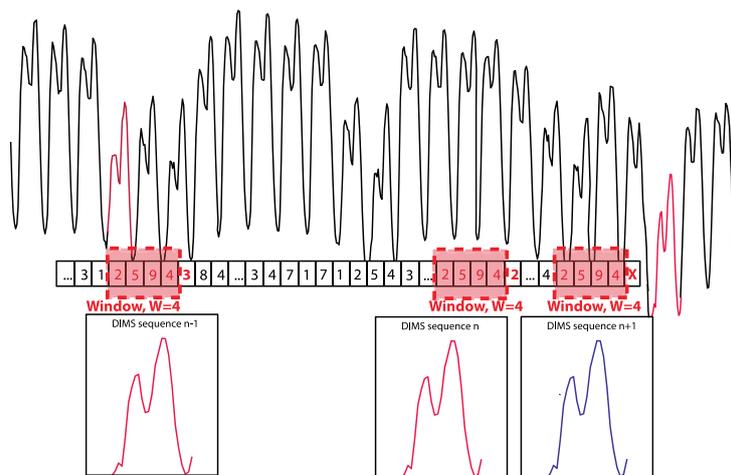


Figura 1. Aplicación del algoritmo PSF a la determinación de DIMS.

## METODOLOGIA

El efecto producido por los días especiales en la demanda eléctrica varía según el tipo de día [6]. La metodología habitual para la modelización de los eventos especiales consiste en la sustitución de patrones regulares [2] o la utilización de variables dummy que individualizan los modelos[7].

La utilización de DIMS permite modelizar los eventos especiales de un modo intrínseco al modelo, como una estacionalidad más, con la particularidad de que está únicamente definida en un intervalo de tiempo, y que no tiene por qué tener una recursividad fija, lo único que se le exige es que la longitud del patrón cíclico se mantenga constante[8]. La utilización de DIMS en modelos nHWT requiere de la determinación de los índices cíclicos iniciales, cuya metodología es similar a la determinación de las estacionalidades regulares. Una alternativa consiste en trabajar con DIMS obtenidos mediante inteligencia artificial, como el PSF. El modelo híbrido nHWT-PSF es una variante de los modelos nHWT-DIMS determinados en [8], donde los patrones estacionales discretos pueden ser determinados bajo el algoritmo PSF, así como la predicción de los mismos en futuras apariciones.

El algoritmo PSF busca las similitudes entre los diferentes clústeres. Para un DIMS de longitud nDIMS,  $X_i = (X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{n_{DIMS}i})$  representa los valores observados para las  $i$  apariciones de la estacionalidad discreta. Se realiza una operación de clustering tras

agrupar los vectores  $X_i$ , donde se buscan los  $K$  clusters utilizando el algoritmo  $K$ -means, utilizando  $W$  últimas apariciones consecutivas de la estacionalidad discreta. Así pues, el DIMS puede ser definido como  $D_W^d = (d_{i-W+1}, d_{i-W+2}, \dots, d_{i-1}, d_i)$  con las etiquetas  $s_W^d$  correspondiente. El algoritmo PSF determina los valores de  $K$  y de  $W$  mediante el cálculo de la distancia entre el valor pronosticado y el real  $\sum_{d \in TS} \|\hat{X}_d - X_d\|$  minimizando el error cuadrático medio (MSE) [10] en el conjunto de entrenamiento  $TS$ . La figura 1 muestra el diagrama de la metodología.

Para valorar la precisión del método propuesto, se ha realizado predicciones sobre la demanda eléctrica horaria en España, Francia y Alemania a partir de los datos ofrecidos por ENTSO-e, en un periodo que comprende desde 2006 hasta 2018. Los primeros años se han utilizado como conjunto de entrenamiento para los modelos utilizados, mientras que el año 2018 se ha utilizado como conjunto de validación fuera de la muestra, donde se han realizado predicciones a 24 horas en adelante durante todo el periodo. Alternativamente se ha realizado el análisis con los modelos nHWT-DIMS normales para establecer la comparativa.

## RESULTADOS

Para realizar la comparación entre modelos se ha utilizado el error de la predicción utilizando el Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE), calculado como  $MAPE\%(h) = \frac{1}{h} \sum_{j=1}^h \frac{|\hat{y}_t - y_t|}{y_t} \times 100$ , donde  $y_t$  son los valores observados en la serie, y por otro lado,  $\hat{y}_t$  son los valores predichos por el modelo. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1. Cada columna representa una serie temporal de demanda utilizada mientras que las filas indican el modelo utilizado. Los valores que se representan son el MAPE promedio de las 24 horas.

**Tabla 1.** MAPE(%) medio de las predicciones según modelo y serie.

Modelo	España	Francia	Alemania
nHWT-DIMS	8%	10%	9%
nHWT-PSF	10%	12%	11%
PSF-DIMS	11%	14,4%	12%

Se puede observar que el MAPE de los nuevos modelos híbridos no mejora los resultados en general de las predicciones realizadas por los modelos anteriormente utilizados. En general el MAPE suele estar alrededor el 4%. Sin embargo, durante el proceso se ha podido comprobar que el objetivo de modelizar eventos de especial dificultad.

## CONCLUSIONES

La introducción del algoritmo PSF para la modelización de DIMS en los modelos de predicción supone la utilización de métodos de inteligencia artificial de forma híbrida. Se han planteado dos cuestiones: la utilización para obtener el valor inicial del DIMS y para trabajar con estacionalidades y DIMS como tal. Los resultados no mejoran los modelos nHWT, sin embargo, ofrecen la posibilidad de modelizar ciertos eventos que mediante

la metodología nHWT resulta impracticable. Los nuevos estudios irán en la línea de poder potenciar estos métodos y centralizar el esfuerzo computacional para esos eventos que mediante los modelos nHWT.

El estudio se limita a las series indicadas, y puede variar en otro tipo de series.

## REFERENCIAS

- [1] Nowotarski, Jakub; and Rafał Weron; (2016). "Recent advances in electricity price forecasting: A review of probabilistic forecasting." *Renew. Sustain. Energy Rev.* no. May, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.234.
- [2] Weron, Rafał; *Modeling and Forecasting Electricity Loads and Prices: A Statistical Approach*. Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] Trull, Oscar; Angel Peiró-Signes; and J. Carlos García-Díaz; (2019). "Electricity forecasting improvement in a destination using tourism indicators." *Sustain.* vol. 11, no. 13, doi: 10.3390/su11133656.
- [4] García-Díaz, J. C.; and Oscar Trull; "Competitive Models for the Spanish Short-Term Electricity Demand Forecasting," in *Time Series Analysis and Forecasting: Selected Contributions from the ITISE Conference*, I. Rojas and H. Pomares, Eds. Cham: Springer International Publishing, pp. 217–231. doi: 10.1007/978-3-319-28725-6\_17.
- [5] Trull, Oscar; J. Carlos García-díaz; and A. Peiró-signes; (2022). "Multiple seasonal STL decomposition with discrete-interval moving seasonalities." vol. 433, doi: 10.1016/j.amc.2022.127398.
- [6] López, Miguel; Carlos Sans; Sergio Valero; and Carolina Senabre; *Classification of Special Days in Short-Term Load Forecasting: The Spanish Case Study*, vol. 12, no. 7. doi: 10.3390/en12071253.
- [7] Kim, Myung Suk; (2013). "Modeling special-day effects for forecasting intraday electricity demand." *Eur. J. Oper. Res.* vol. 230, no. 1. pp. 170–180, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.03.039>.
- [8] Trull, Oscar; J. Carlos García-Díaz; and Alicia Troncoso; (2021). "One-day-ahead electricity demand forecasting in holidays using discrete-interval moving seasonalities." *Energy*. vol. 231. p. 120966, doi: 10.1016/j.energy.2021.120966.
- [9] Chicco, Gianfranco; Roberto Napoli; and Federico Piglione; "Load pattern clustering for short-term load forecasting of anomalous days," in *2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings*, vol. 2, pp. 217–222. doi: 10.1109/PTC.2001.964745.
- [10] Martínez-Álvarez, Francisco; Alicia Troncoso; José Cristóbal Riquelme; and Jesús S. Aguilar-Ruiz; (2011). "Energy Time Series Forecasting Based on Pattern Sequence Similarity." *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.* vol. 23, no. 8. pp. 1230–1243, doi: 10.1109/TKDE.2010.227.

## Expresión de la combinada de una matriz real e invertible de orden 3 como suma de matrices

**Boix, Macarena<sup>(1)</sup>, Cantó, Begoña<sup>(1)</sup>, Cantó, Rafael<sup>(1)</sup>**

*(1) Departamento de Matemática Aplicada, Escola Politècnica Superior d'Alcoi. Universitat Politècnica de València, Plaça Ferrandis i Carbonell, 1, 03801, Alcoi, Alicante (España); mboix@mat.upv.es; bcantol@mat.upv.es; rcanto@mat.upv.es*

### RESUMEN

La matriz combinada de una matriz invertible se define como el producto elemento a elemento de una matriz por su inversa traspuesta. Esta matriz también se llama matriz de ganancia relativa en teoría de control. Si bien es conocido que cuando a una matriz invertible  $A$  se le aplica una operación elemental de Tipo 1 o de Tipo 2, la matriz combinada de  $A$  viene dada por un producto de matrices, en este trabajo se obtiene que, si a dicha matriz  $A$  se le aplica una operación elemental de Tipo 3, su matriz combinada resulta ser una suma de matrices. En particular, se trata el caso de matrices invertibles de orden 3 y aprovechando la propiedad de que la combinada de una matriz triangular de orden  $n$  es la matriz identidad del mismo orden, se obtiene una forma de obtener la matriz combinada de una matriz invertible usando operaciones elementales de Tipo 3.

**Palabras clave:** matriz combinada, matriz invertible, operaciones elementales.

### INTRODUCCIÓN

El producto de matrices como producto de las filas de la primera matriz por las columnas de la segunda aparece, desde un punto de vista histórico, como la matriz de la composición de aplicaciones lineales. Otra forma de multiplicar matrices consiste en realizar el producto elemento a elemento, esta operación se denomina producto de Hadamard y tiene muchas aplicaciones en ingeniería, [1]. Matemáticamente, si se realiza el producto de Hadamard de una matriz invertible por su matriz inversa traspuesta se obtiene una matriz llamada matriz combinada [2]. Esta matriz se utiliza en diversas áreas como, por ejemplo, en el estudio de procesos químicos, como son las columnas de destilación, en problemas de control y en aplicaciones del álgebra lineal, [3]. En 1966, Bristol [4] definió la matriz de ganancia relativa, RGA (Relative Gain Array) como la matriz combinada de la matriz de relación entre las entradas y salidas del sistema. La matriz RGA se utiliza en los problemas de sistemas lineales de control de procesos con múltiple entrada y múltiple salida, con el fin de conocer el comportamiento de las salidas dependiendo de las entradas del sistema. Esta clase de sistemas se caracterizan porque la matriz de estados del sistema tiene tamaño pequeño, de orden 2, 3, 4, (ver [5]). Por otra parte, si se considera una matriz diagonalizable, se puede conseguir una interesante relación entre los elementos de la diagonal principal de la matriz con sus valores propios, a partir de su matriz combinada.

Cabe destacar que una de las propiedades de la matriz combinada de una matriz invertible es que la suma de los elementos de cada fila y de cada columna es igual a 1. Si, además, sus elementos están comprendidos entre 0 y 1, la matriz se denomina doblemente estocástica, [6]. Este tipo de matrices son muy interesantes en los campos de la estadística y la probabilidad.

En el producto de Hadamard interviene el cálculo de la inversa de una matriz. Un método para obtener la matriz inversa de una matriz consiste en usar operaciones elementales por filas (o columnas) sobre la matriz identidad, obteniendo lo que se denominan matrices elementales, denotadas por  $E_i$ ,  $i=1, 2, \dots$ . Con estas matrices, se obtiene una matriz equivalente a la matriz inicial  $A$  y cuya estructura es más sencilla.

Hay tres tipos de operaciones elementales: operación elemental de Tipo 1, consiste en permutar dos filas (o columnas) de la matriz; operación elemental de Tipo 2, es el resultado de multiplicar una fila (o columna) de la matriz por un elemento no nulo; operación elemental de Tipo 3, es la consecuencia de sustituir una fila (o columna) de una matriz por la suma de dicha fila (columna) más otra fila multiplicada por un escalar.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es conseguir un proceso mediante el cual se obtiene la matriz combinada de una matriz real e invertible de orden 3 usando operaciones elementales de Tipo 3 y otras técnicas matriciales.

## RESULTADOS

Para lograr el objetivo se necesitan las siguientes definiciones y propiedades.

**Definición 1.** Dada una matriz invertible  $A$ , la matriz combinada de  $A$  se define como el producto de Hadamard de una matriz por la traspuesta de su matriz inversa, es decir,

$$C(A) = A \circ (A^{-1})^T.$$

**Proposición 1.** La matriz combinada  $C(A) = (c_{ij})$  de una matriz invertible  $A = (a_{ij})$  verifica las siguientes propiedades:

- (a)  $C(A) = C(D_1 A D_2)$ , siendo  $D_1$  y  $D_2$  dos matrices diagonales invertibles.
- (b) Si  $P$  y  $Q$  son dos matrices de permutación, y  $G$  es una matriz triangular, entonces
  - (b.1)  $C(PAQ) = PC(A)Q$ . (b.2)  $C(PGQ) = PC(G)Q = PQ$ . (b.3)  $C(PQP^T) = I$ .
- (c) Si  $c_{ij} \neq 0$ , entonces  $a_{ij} \neq 0$ , para todo  $i, j$ .
- (d) La suma de los elementos de cada fila y de cada columna de  $C(A)$  es 1.
- (e)  $C(A) = C(A^{-1})^T$ .
- (f)  $C(A^T) = C(A)^T = C(A^{-1})$ .
- (g) Si  $A$  es una matriz triangular o diagonal, entonces  $C(A)$  es la matriz identidad.
- (h) Si  $A$  es de orden 2, entonces  $C(A)$  es simétrica y los elementos de la diagonal principal son iguales.

En el proceso se usan las operaciones elementales de Tipo 3 por filas sobre una matriz  $A$  de orden 3. Llamamos  $E_i$ ,  $i = 1, 2, \dots$ , a las distintas matrices que se obtienen al realizar las operaciones elementales por filas sobre la matriz identidad, sabiendo que el resultado obtenido por la aplicación de una operación elemental de Tipo 3 por filas sobre una matriz  $A$  es el mismo que si se premultiplica dicha matriz  $A$  por la correspondiente matriz  $E_i$ . Si hacemos  $p$  operaciones elementales de Tipo 3 por filas a la matriz  $A$ , el

resultado es  $E_p \cdots E_2 E_1 A$ , con  $i = 1, \dots, p$ . Por tanto, a partir de una matriz invertible  $A=(a_{ij})$  obtenemos una matriz triangular superior usando operaciones elementales de Tipo 3. Para ello, anulamos el elemento  $a_{21}$  de la matriz A usando el pivote  $a = -a_{21}/a_{11}$ . Este pivote se multiplica a la primera fila y se suma el resultado obtenido a la segunda fila, quedando  $E_1 = [1 \ 0 \ 0; a \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 1]$  y dando lugar a una nueva matriz  $E_1 A$ . De igual forma, anulamos el elemento  $a_{31}$  usando el parámetro  $b = -a_{31}/a_{11}$  que se multiplica a la primera fila y se suma el resultado obtenido a la tercera fila, obteniendo la matriz elemental  $E_2 = [1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; b \ 0 \ 1]$ . Así pues, la matriz  $E_2 E_1 A$  tendría nulos los elementos con posición (2,1) y (3,1). Falta anular el elemento (3,2) de esta nueva matriz, para ello consideramos que  $a_{22}a_{11} - a_{21}a_{12} \neq 0$ , multiplicamos la fila 2 por el parámetro  $c = \frac{a_{31}a_{12} - a_{32}a_{11}}{a_{22}a_{11} - a_{21}a_{12}}$  y sumamos el resultado a la tercera fila. La matriz elemental correspondiente sería  $E_3 = [1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 0 \ c \ 1]$  y la matriz resultante  $E_3 E_2 E_1 A$  es una matriz triangular superior. Seguidamente obtenemos la matriz combinada de la matriz  $E_3 E_2 E_1 A$  que contiene los parámetros  $a, b, c$  y descomponemos esta matriz como suma de dos matrices, donde una de ellas es la matriz combinada de A y a la otra le llamamos Z. Por último, como la matriz combinada de una matriz triangular es la matriz identidad, podemos despejar la matriz combinada de A como una resta de matrices. Teniendo en cuenta lo descrito, el procedimiento a seguir, usando la notación de Matlab, es el siguiente:

1. Se introducen las matrices  $A=[a_{11} \ a_{12} \ a_{13}; a_{21} \ a_{22} \ a_{23}; a_{31} \ a_{32} \ a_{33}]$ ,  $E_1=[1 \ 0 \ 0; a \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 1]$ ,  $E_2=[1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; b \ 0 \ 1]$  y  $E_3=[1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 0 \ c \ 1]$ , con  $a_{11} \neq 0$ ,  $a_{22}a_{11} - a_{21}a_{12} \neq 0$  y los parámetros  $a = -a_{21}/a_{11}$ ;  $b = -a_{31}/a_{11}$  y  $c = (a_{31}a_{12} - a_{32}a_{11}) / (a_{22}a_{11} - a_{21}a_{12})$ .

2. Se obtiene la matriz traspuesta de la matriz inversa de A,  $G=(g_{ij}), i, j = 1, 2, 3$ .

3. Se multiplica por el escalar  $a$  la fila 1 de la matriz A y se suma el resultado a la fila 2, obteniendo la matriz  $A_1=E_1*A$ . Se calcula la matriz combinada de  $A_1$ . La relación entre la matriz combinada de  $A_1$  y la matriz combinada de A es la siguiente:  $C(A_1) = C(A) + Z$ , con

$$C(A_1) = \begin{pmatrix} a_{11}(g_{11} - ag_{21}) & a_{12}(g_{12} - ag_{22}) & a_{13}(g_{13} - ag_{23}) \\ g_{21}(a_{21} + aa_{11}) & g_{22}(a_{22} + aa_{12}) & g_{23}(a_{23} + aa_{13}) \\ a_{31}g_{31} & a_{32}g_{32} & a_{33}g_{33} \end{pmatrix},$$

$$C(A) = \begin{pmatrix} a_{11}g_{11} & a_{12}g_{12} & a_{13}g_{13} \\ a_{21}g_{21} & a_{22}g_{22} & a_{23}g_{23} \\ a_{31}g_{31} & a_{32}g_{32} & a_{33}g_{33} \end{pmatrix}, \text{ y } Z = \begin{pmatrix} -aa_{11}g_{21} & -aa_{12}g_{22} & -aa_{13}g_{23} \\ aa_{11}g_{21} & aa_{12}g_{22} & aa_{13}g_{23} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

4. Se repite el paso 3 sobre la matriz  $A_1$  usando la matriz  $E_2$  obteniendo  $A_2=E_2*A_1$ , su combinada y una nueva matriz Z y de nuevo sobre la matriz  $A_2$  con la matriz  $E_3$  obteniendo  $A_3=E_3*A_2$ , su combinada y la definitiva matriz Z.

5.  $A_3$  es una matriz triangular superior y su matriz combinada,  $C(A_3)$ , es la matriz identidad de orden 3. Por tanto, podemos escribir la matriz combinada de A como la matriz identidad menos una matriz a la que llamamos Z, es decir,  $C(A)=C(A_3)-Z = I-Z$ .

Teniendo en cuenta todo lo anterior obtenemos el siguiente resultado.

**Proposición.** Sea A una matriz real e invertible de orden 3, con  $a_{11} \neq 0$  y  $a_{22}a_{11} - a_{21}a_{12} \neq 0$  y sean  $E_1=[1 \ 0 \ 0; a \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 1]$ ,  $E_2=[1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; b \ 0 \ 1]$  y  $E_3=[1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 0 \ c \ 1]$  matrices elementales de Tipo 3, con  $a = -a_{21}/a_{11}$ ,  $b = -a_{31}/a_{11}$  y  $c = (a_{31}a_{12} - a_{32}a_{11}) / (a_{22}a_{11} - a_{21}a_{12})$ . Si  $C(A)$  es la matriz combinada de A, entonces  $C(A) = C(E_3 * E_2 * E_1 * A) - Z = I_3 - Z$ , siendo  $I_3$  la matriz identidad de orden 3 y Z la matriz

$$\begin{pmatrix} -a_{11}(ag_{21} + bg_{31}) & -a_{12}(ag_{22} + bg_{32}) & -a_{13}(ag_{23} + bg_{33}) \\ aa_{11}g_{21} + cg_{31}(a_{21} + aa_{11}) & aa_{12}g_{22} - cg_{32}(a_{22} + aa_{12}) & aa_{13}g_{23} + cg_{33}(a_{23} + aa_{13}) \\ a_{21}cg_{31} + a_{11}(b + ac)g_{31} & a_{22}cg_{32} + a_{12}(b + ac)g_{32} & a_{23}cg_{33} + a_{13}(b + ac)g_{33} \end{pmatrix}.$$

### Ejemplo numérico

Sea la matriz  $A = \begin{pmatrix} 1 & 13 & 1 \\ 4 & 136 & -32/13 \\ -4 & 312 & 0 \end{pmatrix}$ , con  $\det(A) = 2688$  y construimos según la

Proposición anterior las matrices  $E_1=[1 \ 0 \ 0; -4 \ 1 \ 0; 0 \ 0 \ 1]$ ,  $E_2=[1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 4 \ 0 \ 1]$  y  $E_3=[1 \ 0 \ 0; 0 \ 1 \ 0; 0 \ -91/21 \ 1]$ . Obtenemos los elementos de la matriz  $G=\text{inv}(A)'$  y, por último, calculamos la matriz  $Z$  y la matriz  $C(A)$  como resta de matrices:

$$Z = \begin{pmatrix} \frac{5}{7} & -\frac{1}{21} & -\frac{2}{3} \\ -\frac{13}{28} & \frac{67}{84} & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{4} & -\frac{3}{4} & 1 \end{pmatrix}, \quad C(A) = C(E_3E_2E_1A) - Z = I_3 - Z = \begin{pmatrix} \frac{2}{7} & \frac{1}{21} & \frac{2}{3} \\ \frac{13}{28} & \frac{17}{84} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & 0 \end{pmatrix}.$$

Nótese que si se calcula  $C(A)=A^\circ(A^{-1})^T$  de manera directa, se obtiene el mismo resultado.

### CONCLUSIONES

En este trabajo se sigue un proceso que calcula la matriz combinada de una matriz real e invertible de orden 3 usando operaciones elementales de Tipo 3 y otras técnicas matriciales. Para ello se usa la propiedad de que la combinada de una matriz triangular de orden  $n$  es la matriz identidad del mismo orden para obtener la combinada de dicha matriz como resta de dos matrices.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por la Consellería de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad Digital de la Generalitat Valenciana mediante el proyecto CIAICO/2021/162.

### REFERENCIAS

- [1] Horn, R.A.; Johnson, C.R. (1991). "Topics in Matrix Analysis". *Cambridge University Press*, New York.
- [2] Fiedler, M. y Markham, T. L. (2011). "Combined matrices in special classes of matrices". *Linear Algebra Appl.*, v. 435, pp. 1945-1955.
- [3] Khaki-Sedigh, A.; Moaveni, B. (2009). "Control Configuration Selection for Multivariable Plants". *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, v. 391, Springer, Berlin.
- [4] Bristol, E.H. (1966). "On a new measure of interaction for multivariable process control". *IEEE Trans. Automatic Control*, v. 1, pp. 133-134. <http://dx.doi.org/10.1109/TAC.1966.1098266>
- [5] Hovd M, Skogestad S. (1994). "Sequential Desig of Decentralized Controllers". *Automatica*, v. 30(10), pp. 1601-1607.
- [6] B. Cantó, R. Cantó, M.T. Gassó, A.M. Urbano. "Doubly stochastic and combined matrices", submitted.

## Diversificación en carteras de activos con métodos de paridad de riesgo jerárquico

Salas-Molina, Francisco<sup>(1)</sup>, Pla-Santamaria, David<sup>(1)</sup>, García-Bernabeu, Ana<sup>(1)</sup>  
Reig-Mullor, Javier<sup>(2)</sup>

(1) *Departamento de Economía y Ciencias Sociales, Universitat Politècnica de València, Ferrandiz y Carbonell, s/n, 03801 Alcoi, España*  
[frsamo@upv.es](mailto:frsamo@upv.es), [dplasan@upv.es](mailto:dplasan@upv.es), [angarber@upv.es](mailto:angarber@upv.es)

(2) *Departamento de Estudios Económicos y Financieros, Universitat Miguel Hernández de Elche, Avda. de la Universidad, s/n, 03202 Elx, España*  
[javier.reig@umh.es](mailto:javier.reig@umh.es)

### RESUMEN

Los métodos de paridad de riesgo jerárquico para la selección de carteras de activos han sido propuestos recientemente como una alternativa al modelo media-varianza de Markowitz. La ventaja principal aportada por estos métodos es la robustez frente a errores de estimación de la matriz de covarianzas necesaria para obtener los pesos de la cartera. En este trabajo se estudia empíricamente el efecto que la diversificación obtenida al incrementar el número de activos de la cartera tiene en la rentabilidad y el riesgo. Mediante simulación Monte Carlo con datos sintéticos se calcula el ratio de Sharpe en un conjunto de datos de test no utilizado para calcular los pesos de las carteras. Los resultados obtenidos muestran que el método de paridad de riesgo jerárquico se comporta mejor que el modelo media-varianza de Markowitz y que el modelo de proporcionalidad inversa a la varianza. Sin embargo, el estudio empírico muestra también que un modelo de igualdad de pesos obtiene los mejores resultados sin necesidad de cálculos complejos.

**Palabras clave:** matriz de covarianzas, robustez, Sharpe ratio, Monte Carlo.

### INTRODUCCIÓN

El modelo de selección de activos con riesgo de Markowitz [1] ofrece una solución al problema de asignar los pesos de un presupuesto de inversión a un conjunto de activos de los cuales se conoce su rentabilidad pasada. En esencia, el modelo de Markowitz determina los pesos de los activos que minimizan la varianza de la cartera para un nivel de retorno deseado. Para ello, es necesario calcular la inversa de una estimación de la matriz de covarianzas de los activos. Esta circunstancia provoca cierto grado de inestabilidad de las soluciones frente a errores de estimación o pequeñas variaciones de la matriz de covarianzas.

Para solucionar este problema de robustez de las soluciones, López de Prado [2] se basó en técnicas de teoría de grafos y aprendizaje automático para proponer los métodos de paridad de riesgo jerárquico (HRP) para la selección de carteras. La matriz de covarianzas está íntimamente con la matriz de correlación. Esta matriz contiene los cosenos de los ángulos entre cualquier par de vectores en el espacio vectorial formado las series temporales de los retornos de los activos. Al contrario que la programación cuadrática necesaria para resolver el modelo media-varianza de Markowitz, la idea

principal de los métodos de paridad de riesgo es no considerar al resto de los activos como posibles sustitutos de uno cualquiera, sino establecer una estructura de agrupación jerárquica (en árbol) entre activos a partir de la matriz de correlación. A partir de esta estructura jerárquica y siguiendo un proceso de bisección recursiva se establecen los pesos de manera inversamente proporcional a la varianza de cada par de activos agrupados.

López de Prado [2] demostró empíricamente mediante simulación Monte Carlo que el modelo de selección de carteras basado en HRP obtenía mejores resultados en términos de riesgo de la cartera que el *Critical Line Algorithm* (CLA) de Markowitz [3, 4] y el método de pesos inversamente proporcionales a la varianza de los activos. Para ello, calculó la varianza de la cartera en un conjunto de datos de test no utilizado para calcular los pesos de la cartera, es decir, mediante una evaluación *Out-of-sample* (OOS). Posteriormente, diferentes estudios [5, 6, 7] reportaron un mejor comportamiento de los métodos HRP respecto a otros modelos. Siguiendo la metodología Monte Carlo utilizada por López de Prado [2], en este trabajo se estudia empíricamente el efecto que la diversificación obtenida al incrementar el número de activos de la cartera tiene en la rentabilidad y el riesgo.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es extender el estudio empírico descrito en López de Prado [2] incluyendo nuevos modelos y variando el número de activos. Utilizando datos sintéticos generados a partir de retornos que siguen una distribución normal con media y varianza ajustada a los valores históricos del S&P 500, se comparan cuatro métodos diferentes para calcular los pesos de las carteras óptimas:

1. HRP. Método de paridad de riesgo jerárquico [2].
2. IVP. Pesos inversamente proporcionales a la varianza de los activos [2].
3. MVP. Modelo media-varianza de Markowitz [1].
4. EWP. Pesos iguales para todos los activos [8].

La medida de desempeño utilizada para comparar los diferentes métodos es el ratio de Sharpe definido como la relación entre la rentabilidad media obtenida en los experimentos realizados y desviación típica de los retornos. El algoritmo para la evaluación OOS comprende los siguientes pasos:

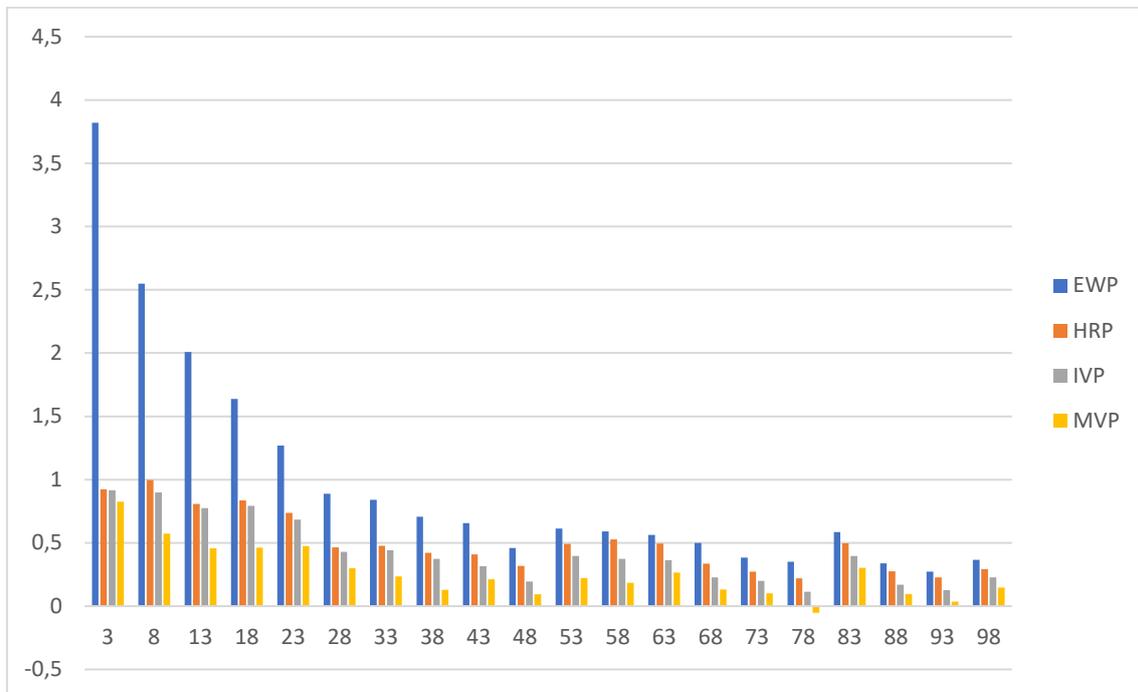
1. Generar datos de retornos aleatorios para un conjunto de activos dado a partir de una distribución normal basada en rentabilidades y volatilidades históricas.
2. Añadir cierto grado de correlación a los retornos entre activos.
3. Introducir impactos aleatorios en los datos de test para la evaluación OOS.
4. Calcular los pesos de los activos para los distintos métodos utilizando los datos de entrenamiento de una longitud temporal determinada.
5. Evaluar el ratio de Sharpe OOS utilizando los datos del conjunto de test.

El algoritmo de evaluación requiere establecer los siguientes parámetros: 1) número de activos; 2) número de observaciones; 3) longitud conjunto de entrenamiento; 4) longitud conjunto de test; 5) medias de retornos; 6) desviación típica de retornos; 7) desviación típica de los retornos correlacionados; y 8) número de iteraciones.

## RESULTADOS

Los resultados que se muestran a continuación están basados en la selección de parámetros del estudio empírico descrito en López de Prado [2]. Más concretamente se utiliza un número de activos variable entre 3 y 100, un número de observaciones diarias de 520, equivalente a 2 años, y el conjunto de entrenamiento tiene una longitud de 260. Por tanto, el conjunto de test de es de 260 días (520-260) que se dividirá en períodos de recálculo de 22 días, equivalentes a un mes, para la evaluación OOS. La media de retorno 12% y de volatilidad anual 19% se corresponden con los valores históricos del S&P 500 desde 1926 hasta 2021. Para introducir cierto grado de correlación entre los retornos de los diferentes activos se utiliza el parámetro de desviación típica de los retornos igual al 25% de la volatilidad anual 19%. Con el objetivo de replicar con la mayor fidelidad posible las condiciones de mercado, se estudian empíricamente las correlaciones medias de los activos del IBEX 35, del S&P500 y del EuroStoxx 50 desde el año 2000 obteniéndose valores medios de 0.37, 0.43 y 0.50. Por este motivo, en los experimentos las matrices de retornos generadas mantienen grados de correlación medios entre 0.40 y 0.50. Cada conjunto de datos se genera 100 veces y en cada iteración se realizan 12 recálculos con lo que el número total de evaluaciones es de 1200 para cada método y número de activos estudiados.

La Figura 1 muestra el ratio de Sharpe OOS para diferentes métodos y número de activos. Por un lado, se aprecia que la diversificación (aumentar el número de activos de la cartera) tiene un efecto negativo en el desempeño de la cartera. Aunque se comprueba que la volatilidad se reduce al aumentar el número de activos, la rentabilidad disminuye en mayor medida provocando una reducción del ratio de Sharpe que tiende a situarse alrededor de 0.5 pero con tendencia ligeramente a la baja a medida que aumenta el número de activos.



**Figura 1.** Ratio de Sharpe OOS para diferentes métodos y número de activos.

Por otro lado, se puede apreciar que los resultados obtenidos por los métodos de paridad de riesgo jerárquico son mejores que el modelo media-varianza de Markowitz y que el modelo de proporcionalidad inversa a la varianza para distintos números de activos. Estos resultados refrendan parcialmente las conclusiones de López de Prado [2]. Sin embargo, el estudio empírico muestra también que un modelo de igualdad de pesos obtiene los mejores resultados de los cuatro métodos considerados. Respecto al resto de métodos, la igualdad de pesos tiene la gran ventaja de que no se requieren algoritmos ni cálculos complejos que si son necesarios en el caso de HRP y de Markowitz. Estos resultados están en línea con otros resultados presentes en la literatura como, por ejemplo, de Miguel et al [8].

## CONCLUSIONES

Aunque los métodos de paridad de riesgo jerárquico para la selección de carteras de activos se han propuesto recientemente como una alternativa eficaz al modelo media-varianza de Markowitz, es necesario realizar una evaluación comparativa más extensa utilizando diferentes modelos, un número diferente de activos y matrices de correlación de retornos que se ajusten mejor a entornos más realistas de mercado. En este trabajo se muestra que la diversificación obtenida al incrementar el número de activos de la cartera reduce el ratio de Sharpe para diferentes métodos. Además, los resultados obtenidos muestran que el método HRP se comporta mejor que el modelo media-varianza de Markowitz y que el modelo de proporcionalidad inversa a la varianza. Sin embargo, también se aprecia que el modelo de igualdad de pesos obtiene los mejores resultados sin necesidad de cálculos complejos y computacionalmente exigentes.

## REFERENCIAS

- [1] Markowitz, H. (1952). "Portfolio selection." *The Journal of Finance*, 7, 1, 77–91.
- [2] López de Prado, Marcos (2016). "Building diversified portfolios that outperform out-of-sample," *Journal of Portfolio Management*, 42, 4, 59-69.
- [3] Markowitz, H. (1959). "Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments." John Wiley and Sons, New York.
- [4] Bailey, D. H., & de Prado, M. L. (2013). "An open-source implementation of the critical-line algorithm for portfolio optimization." *Algorithms*, 6(1), 169-196.
- [5] Raffinot, T. (2017). "Hierarchical clustering-based asset allocation." *The Journal of Portfolio Management*, 44, 2, 89-99.
- [6] Burggraf, T. (2021). "Beyond risk parity—A machine learning-based hierarchical risk parity approach on cryptocurrencies." *Finance Research Letters*, 38, 101523.
- [7] Cho, Y., & Song, J. W. (2023). "Hierarchical risk parity using security selection based on peripheral assets of correlation-based minimum spanning trees." *Finance Research Letters*, 53, 103608.
- [8] De Miguel, V., Garlappi, L., & Uppal, R. (2009). "Optimal versus naive diversification: How inefficient is the 1/N portfolio strategy?" *The Review of Financial Studies*, 22, 5, 1915-1953.

## Factores que influyen en la adopción de prácticas sostenibles en empresas industriales de la Comunidad Valenciana

Valdivieso-Uvidia, Jeanneth Marcela <sup>(1)</sup>, Expósito-Langa, Manuel <sup>(2)</sup>, Belso-Martínez, José Antonio <sup>(3)</sup>

(1) *Departamento de Administración y Dirección de Empresas, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell, 03801, Alcoy (Alicante), [marvaluv@epsa.upv.es](mailto:marvaluv@epsa.upv.es)*

(2) *Departamento de Organización de Empresas, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell, 03801, Alcoy (Alicante), [maexlan@doe.upv.es](mailto:maexlan@doe.upv.es)*

(3) *Departamento de Economía y Finanzas, Universidad Miguel Hernández de Elche, Avda. del Ferrocarril s/n, 03202 Elche, (Alicante), [ibelso@umh.es](mailto:ibelso@umh.es)*

### RESUMEN

Ser sostenible es una capacidad de la empresa para operar en el largo plazo, considerando su impacto social, ambiental y económico. Esta capacidad anima a los investigadores a estudiar en qué medida las prácticas empresariales son responsables y éticas. Esta investigación tiene como objetivo analizar cómo la implementación de innovaciones verdes, la actividad internacional y las redes territoriales influyen en el desempeño sostenible de las empresas, así como, evidenciar cómo difiere la sostenibilidad según la intensidad tecnológica a la que pertenece el sector industrial. Se trabajó con una muestra de 189 empresas de sectores industriales tradicionales de la Comunidad Valenciana y los resultados sugieren que estos factores contribuyen a una mayor conciencia socioambiental y al aprendizaje de nuevas prácticas sostenibles, lo que se traduce en un mejor desempeño sostenible. Además, ponen en evidencia el comportamiento coadyuvante de la intensidad tecnológica del sector en el nivel de desempeño sostenible de las empresas.

**Palabras clave:** Desempeño, Innovación, Internacionalización, Redes, Intensidad Tecnológica, Sostenibilidad.

### INTRODUCCIÓN

En el contexto empresarial, la sostenibilidad es cada vez más importante debido a la creciente conciencia de los riesgos y oportunidades asociados con la protección del medio ambiente, y la necesidad de un enfoque de gestión empresarial más responsable y ético (1–3). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU han puesto en evidencia la necesidad de un enfoque sostenible para el acelerado desarrollo económico, planteando al mismo tiempo un desafío a largo plazo para las empresas (6). Las empresas que adoptan prácticas sostenibles pueden obtener beneficios tanto económicos como ambientales y sociales, incluyendo la reducción de costos y riesgos, el fortalecimiento de la reputación de la empresa, y el desarrollo de nuevas oportunidades de negocio

Parte de la literatura académica en el área de la administración de empresas se ha focalizado en comprender los micro mecanismos que impulsan el desempeño sostenible, incluyendo la importancia de las relaciones (7). Sin embargo, aún existen aspectos por explorar sobre cómo la innovación verde, la actividad internacional y la dimensión relacional (relaciones verticales y ubicación de clústeres) contribuyen a mejorar el desempeño sostenible. En este trabajo se desarrolla un enfoque holístico

para abordar la interdependencia de los sistemas económicos, sociales, ambientales y se estudia el rol de la tecnología como impulsor del crecimiento y la competitividad.

## OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Avanzar en un modelo verdaderamente sostenible a nivel empresarial implica incluir aspectos socioambientales que superen el enfoque unidimensional basado en ámbitos meramente económicos (1,3,7). La innovación verde surge como una estrategia para contribuir a mejorar el bienestar y reducir el impacto ambiental de la cadena productiva global, que se traduce en un aporte a la sostenibilidad (8). La internacionalización se ha destacado como un motor de competitividad (2,4) y las relaciones de la red territorial (8) facilita los flujos comunes de aprendizaje y conocimiento, que beneficien en el desempeño sostenible de las empresas. Basados en los argumentos anteriores, proponemos la siguiente hipótesis:

**Hipótesis 1:** La innovación verde en las empresas favorece el desempeño sostenible de las empresas.

**Hipótesis 2:** La internacionalización favorece el desempeño sostenible de las empresas.

**Hipótesis 3:** Las relaciones en la red territorial favorecen el desempeño sostenible de las empresas.

El factor de intensidad tecnológica sectorial por su parte, considerada como el nivel de tecnología específico de un sector a partir de la relación entre el gasto en I+D y el valor añadido incorporado en los productos (9). La OCDE determina cuatro grupos de industrias basados en el grado de intensidad tecnológica: alta tecnología, media alta tecnología, media baja tecnología y baja tecnología. Se considera que la intensificación tecnológica requiere un cierto nivel de innovación y varios autores (2,9) la asocian con la capacidad de las empresas para aprovechar el nuevo conocimiento, ampliar sus mercados, utilizar los recursos disponibles de manera más productiva y, en general, mejorar su desempeño empresarial. A partir de estas afirmaciones se plantea la siguiente pregunta de investigación de carácter explorativo:

**Pregunta de investigación;** ¿El nivel de desempeño sostenible de las empresas difiere según la intensidad tecnológica a la que pertenece el sector?

## RESULTADOS

El estudio empírico se basó en una muestra de 189 empresas de sectores productivos de la Comunidad Valenciana, complementada por la fuente de información secundaria de SABI (Sistema Ibérico de Análisis de Balances). En cuanto al tamaño por número de empleados, el 15,9% (> 10), el 63,5% (<11 y >49), y el 20,6% (<50). En términos de facturación en millones de euros, el 48,1% (>3), el 22,8% (<3 y <6) y el 29,1% (<6). La variedad de sectores industriales fue; mueble, construcción, metal, cerámica, textil, alimentación, plástico, calzado y cartón. Con los datos se realizó un análisis factorial con su un matriz de correlación que descartó posibles problemas de multicolinealidad (> .70) y un enfoque de regresión jerárquica por pasos para contrastar las hipótesis.

Tabla 1. Resultados de regresión de modelos

Variable dependiente: <b>Desempeño Sostenible</b>			
	M1	M2	M3
<b>Innovación verde</b>	.493** (7.674)	.480** (7.478)	.163* (2.448)
<b>Internacionalización</b>		.118* (1.802)	.123* (2.224)
<b>Clúster</b>			.127* (2.357)
<b>Clientes</b>			.471** (6.729)
<b>Proveedores</b>			.146* (2.131)
<b>Tamaño</b>	-.002 (-.038)	-.026 (-.394)	-.069 (-1.251)
Modelo F	29.774**	21.172**	27.849**
R2	.243	.256	.479
R2 ajustado	.234	.244	.461
Cambio en R2		.013*	.223**

N=189; \*\*p< .01; \* p< .05. Estimaciones de regresión estandarizadas (valores t)

Se obtuvo tres modelos de regresión, el modelo 1 muestra que la Innovación Verde tiene una asociación significativa y positiva sobre el Desempeño Sustentable ( $\beta = .493$ ,  $p<.01$ ), y confirma la Hipótesis 1. El Modelo 2 incorpora el efecto positivo de la variable Internacionalización ( $\beta = .118$ ,  $p<.05$ ), confirma la Hipótesis 2. El Modelo 3 confirma la Hipótesis 3, evidencia un efecto positivo de los vínculos intercluster sobre el desempeño sostenible ( $\beta = .127$ ,  $p<.05$ ). Además, las relaciones en la cadena de valor, con clientes ( $\beta = .471$ ,  $p<.01$ ) como con proveedores ( $\beta = .146$ ,  $p<.01$ ), son relevantes. Para abordar la pregunta de investigación planteada, se llevó a cabo una comparación por grupos de la variable (desempeño sostenible) y el nivel de intensidad tecnológica del sector. Debido a que los grupos de empresas no son homogéneos, se realizó un análisis detallado de las diferencias entre los grupos mediante test no paramétricos.

Tabla 2. Estadísticos de pruebas Kruskal-Wallis para variables del estudio

ITS <sup>b</sup>	X <sup>2</sup>	<sup>a</sup> Rango medio			Comparación por pares <sup>bc</sup>		
		Baja	Media-baja	Medi-a-alta	Baja/Media baja	Baja/Media alta	Media baja/Media alta
<b>Desempeño Sostenible</b>	12.684*	87.90	93.17	128.8 1	-5.265 (9.464)	-40.913** (11.519)	-35.648* (13.134)

**Nota:** N = 189; <sup>a</sup>Prueba de Kruskal-Wallis; Significativo \*\*p< .01; \* p< .05; <sup>b</sup>Variable de agrupación: Intensidad tecnológica del sector (ITS); <sup>c</sup>Valores superiores indican diferencia entre grupos y valores inferiores el error estándar.

Los resultados evidencian que las empresas de ITS media-alta obtuvieron puntuaciones significativamente mayores en desempeño sostenible que las empresas de ITS baja. Estos resultados sugieren que las empresas de sectores más intensivos en tecnología tienden a ser más sostenibles. Además, en sectores con una ITS superior, se produce una rápida obsolescencia del conocimiento disponible, lo que favorece la adaptación rápida al crecimiento y la aparición de nuevos modelos de negocio, donde la variable sostenibilidad se incorpora con mayor velocidad.

## CONCLUSIONES

El desempeño sostenible es el resultado de un proceso complejo, donde confluyen diversos factores que interactúan entre sí y con su entorno socioeconómico, especialmente el inmediato. Abordar cuestiones de innovación verde en sostenibilidad es relevante porque atiende al desafío impulsado por los cambios significativos en los consumidores y las empresas. Los mercados internacionales son un espacio de trabajo donde fluye el conocimiento, como una oportunidad para aprender nuevas prácticas socioambientales. La tecnología influye porque a mayor ITS mejores resultados de sostenibilidad. Estos factores impulsan cambios en la actividad productiva de las industrias, para incorporar acciones verdes y transferir esas innovaciones al resto del sistema. Este estudio tiene implicaciones de interés para la investigación científica, ya que los hallazgos encontrados pueden servir como punto de reflexión y de partida para futuras investigaciones, especialmente en áreas relacionadas con la intensidad tecnológica y su impacto en el desempeño sostenible de las industrias.

## REFERENCIAS

- [1] Kraus S, Burtscher J, Vallaster C, Angerer M. Sustainable entrepreneurship orientation: A reflection on status-quo research on factors facilitating responsible managerial practices. *Sustain.* 2018;10(2).
- [2] Vallet-Bellmunt T, Fuertes-Fuertes I, Flor ML. Reporting Sustainable Development Goal 12 in the Spanish food retail industry. An analysis based on Global Reporting Initiative performance indicators. *Corp Soc Responsib Environ Manag.* 2022 February:1–13.
- [3] Andersson S, Svensson G, Otero-Neira C, Laurell H, Lindgren J, Karlsson NPE. Sustainable development considerations in supply chains: Firms' relationships with stakeholders in their business sustainability practices—A triangular comparison. *Bus Strateg Environ.* 2022;(April):1–15.
- [4] Rodríguez-Pose A, Belso-Martinez JA, Díez-Vial I. Playing the innovation subsidy game: Experience, clusters, consultancy, and networking in regional innovation support. *Cities.* 2021;119(July).
- [5] Mbanyele W, Huang H, Li Y, Muchenje LT, Wang F. Corporate social responsibility and green innovation: Evidence from mandatory CSR disclosure laws. *Econ Lett.* 2022 Mar 1;212:110322.
- [6] Chen YS, Lai SB, Wen CT. The influence of green innovation performance on corporate advantage in Taiwan. *J Bus Ethics.* 2006;67(4):331–9.
- [7] Becker B. Green Innovation Strategies, Innovation Success, and Firm Performance—Evidence from a Panel of Spanish Firms. *Sustain.* 2023;15(2).
- [8] Expósito-Langa M, Tomás-Miquel JV, Molina-Morales F. Innovation in clusters: exploration capacity, networking intensity and external resources. *J Organ Chang.* 2015;34(1):1–5.
- [9] Abdal A, Torres-Freire CE, Callil V. Rethinking sectoral typologies: A classification of activity according to knowledge and technological intensity. *RAI Rev Adm e Inovação.* 2016;13(4):232–41.

## La importancia de considerar aspectos realistas para la validación de estrategias de reubicación de ambulancias

**Karpova, Yulia<sup>(1)</sup>, Villa, Fulgencia<sup>(1)</sup>, Vallada, Eva<sup>(1,2)</sup>, Vecina, Miguel Ángel<sup>(1)</sup>**

*(1) Grupo de Sistemas de Optimización Aplicada, Instituto Tecnológico de Informática, Ciudad Politécnica de la Innovación, edificio 8G, Acc. B.*

*Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46021, Valencia, España*

*yukarkry@posgrado.upv.es, mfuvilju@eio.upv.es, evallada@eio.upv.es, mivegar2@gmail.com*

*(2) Senior Research Fellow at ValgrAI*

### RESUMEN

La reubicación de las ambulancias disponibles es una de las alternativas al aumento de la flota de vehículos para mantener el nivel de servicios adecuado cuando algunos vehículos están ocupados. En los últimos 20 años se ha propuesto un amplio abanico de estrategias de reubicación, pero su implementación en los Servicios de Emergencias Sanitarias reales ha sido muy escasa. Uno de los posibles motivos de este problema es la falta de considerar aspectos realistas del proceso de asistencia a las emergencias, como, por ejemplo, la tasa de llamadas, las distancias reales, los turnos de trabajo. En este estudio se presenta un algoritmo de reubicación de ambulancias que tiene en cuenta varios aspectos realistas y se muestra la importancia de considerar estos aspectos. Se analiza un caso real, el de la ciudad de Valencia.

**Palabras clave:** Ambulancias, reubicación, heurísticas, isócronas.

### INTRODUCCIÓN

El proceso de asistencia a una emergencia se puede representar con una serie de pasos, definidos por diferentes acciones como la llegada de la llamada de emergencia, la asignación de una ambulancia, la llegada de la ambulancia al lugar del incidente, asistencia al paciente y su traslado al hospital, traspaso del paciente y vuelta a la base habitual. Sin embargo, en ocasiones es mejor enviar la ambulancia a otra base, distinta de su base habitual, para proporcionar mejor nivel de cobertura.

La comunidad científica ofrece una amplia gama de estrategias de reubicación de vehículos sanitarios (para mayor detalle ver [1]). Sin embargo, no hay consenso respecto a la determinación de aspectos como, por ejemplo, la asignación de las ambulancias en ruta (lo habitual es considerar las ambulancias que están volviendo a su base para la asignación a las emergencias, pero en [2, 3] los vehículos no se pueden asignar mientras se están moviendo). Otro aspecto relevante es, por ejemplo, los turnos de trabajo. En los Servicios de Emergencias Sanitarias (SES) reales las ambulancias empiezan y terminan su jornada en la misma base, pero muchos trabajos no consideran este aspecto.

En este trabajo presentamos un algoritmo de reubicación basado en escenarios, que son combinaciones de bases libres. Los escenarios se determinan con un análisis de solapamientos de isócronas. Una isócrona es el área que abarca todos los puntos a los que se puede llegar en un determinado tiempo desde un punto dado con un medio de transporte específico. La reubicación de una ambulancia se puede realizar sólo cuando esta ambulancia finaliza un servicio y en este momento ocurre algún escenario (para mayor detalle ver [4]). Lo novedoso de este trabajo es que el algoritmo de reubicación considera varios aspectos realistas del proceso de atención a las emergencias:

- Se puede realizar la asignación de ambulancias en ruta
- Se consideran los turnos de trabajo.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es desarrollar una estrategia de reubicación de ambulancias teniendo en cuenta varios aspectos realistas del proceso de atención a las emergencias sanitarias para su mayor aceptación en los SES reales. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Mejorar el algoritmo de asignación para tener en cuenta las ambulancias en ruta y estudiar la importancia de este aspecto
- Desarrollar un algoritmo que permita a todas las ambulancias volver a su base habitual al final de su turno.

## RESULTADOS

La validación de la estrategia de reubicación propuesta se ha realizado con un caso real, el de la ciudad de Valencia, donde hay 10 ambulancias de soporte vital avanzado (atienden emergencias sanitarias) y 10 bases. Para poder asignar las ambulancias en ruta se han utilizado varios algoritmos de QGIS, que es un Sistema de Información Geográfica de software libre. El cálculo de isócronas lo permite el complemento Openrouteservice<sup>2</sup>. La Figura 1 muestra un ejemplo del cálculo de las posiciones de las ambulancias en ruta. Suponemos que una ambulancia ha finalizado un servicio en el hospital marcado con un rombo azul y se tiene que dirigir a una de las posibles bases (estrellas rojas). Se obtienen los caminos más rápidos para llegar a cada una de las bases (líneas azules). Dado que la comprobación del estado del sistema se hace cada minuto, se obtienen las isócronas desde el hospital de 1, 2, 3, 4... minutos, hasta la llegada de la ambulancia a la base más lejana del hospital (en el ejemplo se observa la isócrona de 3 minutos). Se obtienen los puntos de intersección de cada camino con el borde de cada isócrona, que serán las posiciones de las ambulancias en ruta en un momento dado.



**Figura 1.** Ejemplo de obtención de las posiciones de las ambulancias en ruta.

<sup>2</sup> © openrouteservice.org by HeiGIT — Map data © OpenStreetMap contributors

Para poder devolver a todas las ambulancias a sus bases habituales al final del turno no es suficiente sólo dejar de reubicarlas, dado que al enviar una ambulancia a su base habitual, ésta puede estar ocupada por otra ambulancia. Entonces, hay que hacer un movimiento brusco para que todas las ambulancias que no se encuentren en sus bases habituales vuelvan a ellas. Dado que no tiene sentido realizar movimientos de ida y vuelta, hay un corto período preparatorio al movimiento brusco, en el que aquellas ambulancias que no pueden volver a su base por estar ocupada se quedan en el hospital. Se estudia la realización del movimiento brusco 8 horas antes del fin del turno (Alg\_1) y al final de cada turno (Alg\_2). El desempeño de los dos algoritmos se compara con el del Algoritmo sin reubicación (Alg\_0). También se estudia cómo la posibilidad de asignar las ambulancias en ruta afecta los resultados (se comparan los algoritmos mencionados con los correspondientes Alg\_0\_sin, Alg\_1\_sin, Alg\_2\_sin, donde las ambulancias en ruta no se pueden asignar hasta que lleguen a una base). Todos los algoritmos han sido programados en Python 3.7.

Se generan 150 instancias de cada uno de los 4 tipos: de 40, 60, 80, 100 emergencias diarias, según los datos históricos. Las llamadas se generan con una tasa variable durante el día (turno de 24 horas) y se distribuyen en función de la población mayor de 60 años entre las 77 zonas (58 municipios cercanos a Valencia y 19 barrios de la propia ciudad). La duración de la asistencia in situ es aleatoria entre 15 y 30 minutos, el tiempo de traspaso del paciente en el hospital es aleatorio entre 15 y 20 minutos. Se utilizan las distancias reales. Se evalúa el número de emergencias atendidas dentro de 10 minutos (3 minutos para el triaje y 7 minutos para el desplazamiento) y la media de retrasos.

Los resultados muestran que hay una notable diferencia entre los algoritmos con y sin asignación de las ambulancias en ruta (con asignación se obtienen mejores resultados). Sin embargo, la mejora que se produce al reubicar los vehículos respecto a no reubicarlos no es la misma cuando se asignan las ambulancias en ruta y cuando no se asignan. En la Figura 2 se observa la diferencia porcentual del número de llamadas atendidas dentro de 10 minutos para algoritmos 1 y 2 respecto al algoritmo sin reubicar. Para cada tipo de instancias las barras en tonos rojos (asignando las ambulancias en ruta) son más cortas que las barras grises (sin asignar las ambulancias en rutas). Esta diferencia se debe al hecho de que cuando las ambulancias en ruta no se asignan, están en el estado no disponible hasta que lleguen a una base. Cuando no se hace la reubicación y las ambulancias se envían a sus bases habituales, los vehículos tardan más en llegar a estas bases que cuando se realiza la reubicación, porque las bases a las que se suelen reubicar las ambulancias están en el centro de la ciudad, más cerca de los hospitales y, por lo tanto, llegan a sus destinos antes y están disponibles antes. En el caso cuando sí se asignan las ambulancias en ruta, desaparece esta "ventaja" de las bases de estar cerca de los hospitales y, en definitiva, la ganancia de reubicar frente a no reubicar no es tan elevada. Lo mismo pasa con la media de retrasos (ver la Figura 3): cuando se asignan las ambulancias en ruta la mejora de los algoritmos de reubicación respecto a no reubicar es menor que cuando no se asignan las ambulancias en ruta.

Por último, no hay una clara diferencia entre devolver las ambulancias a sus bases habituales (hacer el movimiento brusco) 8 horas antes del fin del turno y al final del turno (ver las diferencias entre los algoritmos Alg\_1 y Alg\_2 o Alg\_1\_sin y Alg\_2\_sin respectivamente). Entendemos que esto se debe al patrón de la demanda, dado que estas 8 horas anteriores al fin del turno son horas nocturnas, de poca demanda, y no son decisivas.

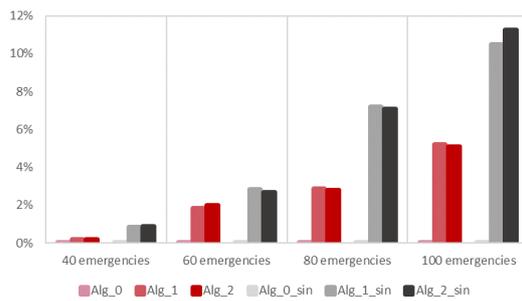


Figura 2. Llamadas dentro de 10 min.

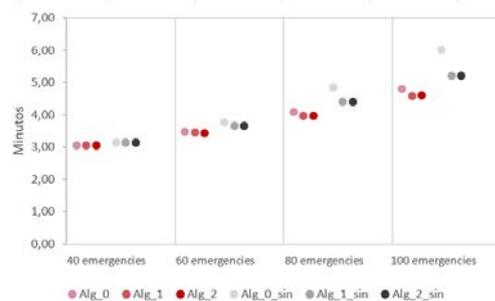


Figura 3. Media de retrasos.

## CONCLUSIONES

Se ha presentado un caso de estudio real, de la ciudad de Valencia, donde se ha mostrado la importancia de tener en cuenta aspectos realistas del proceso de asistencia a las emergencias, tales como la asignación de las ambulancias en ruta y la finalización del turno de trabajo de cada equipo en su base habitual, a la hora de desarrollar las estrategias de reubicación de vehículos sanitarios. La no consideración de los aspectos mencionados puede sobreestimar los resultados de los algoritmos propuestos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores cuentan con el apoyo de la Agència Valenciana de la Innovació (AVI) (proyecto “ireves (innovación en vehículos de emergencia sanitaria): una herramienta inteligente de decisión” No. INNACC/2021/26) y del Ministerio de Ciencia e Innovación de España (proyecto “OPRES-Optimización Realista en Problemas de Salud Pública” No. PID2021-124975OB-I00, parcialmente financiado con fondos FEDER). Yulia Karpova cuenta con el apoyo del proyecto "Programa de Ayudas de Investigación y Desarrollo (PAID-01-21) de la Universitat Politècnica de València".

## REFERENCIAS

- [1] Bélanger, Valérie; Ruiz, Ángel; Soriano, Patrick; (2019). “Recent optimization models and trends in location, relocation, and dispatching of emergency medical vehicles”. *European Journal of Operational Research*, v. 272, p.p. 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.055>
- [2] Schmid, Verena; (2012). “Solving the dynamic ambulance relocation and dispatching problem using approximate dynamic programming”. *European journal of operational research*, v. 219, p.p. 611–621. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.10.043>
- [3] Sudtachat, Kanchala; Mayorga, María. E.; Mclay, Laura A.; (2016). “A nested-compliance table policy for emergency medical service systems under relocation”. *Omega*, v.58, p.p. 154–168. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.06.001>
- [4] Karpova, Yulia; Villa, Fulgencia; Vallada, Eva; Vecina, Miguel Ángel; (2023). “Heuristic algorithms based on the isochron analysis for dynamic relocation of medical emergency vehicles”. *Expert Systems with Applications*, v. 212, p.p. 118773. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118773>

## Reciclado químico de residuos textiles de poliéster

**Pellicer, Tíbet <sup>(1)</sup>, Gaona, Aidé <sup>(2)</sup>, Costa, David <sup>(3)</sup>**

*(1) Técnico I+D (AITEEX, email: tibet.pellicer@aitex.es)*

*(2) Directora de proyectos I+D (AITEEX, email: AGaona@aitex.es)*

*(3) Director de proyectos I+D (AITEEX, email: DCosta@aitex.es)*

### RESUMEN

Diferentes sectores industriales han consumido importantes cantidades de polímeros sintéticos a lo largo de las últimas décadas. Hasta la fecha, el sistema productivo de la mayoría de los sectores ha operado de forma casi lineal, lo que implica la producción, uso y desecho de los productos manufacturados. Así pues, este modelo resulta insostenible debido a la gran generación y acumulación de residuos.

Dentro de los sectores industriales que operan con polímeros se encuentra el sector textil, pues las fibras sintéticas se producen a partir de polímeros provenientes, generalmente, de productos derivados del petróleo. Entre las fibras sintéticas, destaca el poliéster, con una cuota de mercado de, aproximadamente, el 90% del total de las fibras sintéticas, lo que representa una producción de 60 millones de toneladas anuales.

En la actualidad, la principal tecnología de reciclado de poliéster es el reciclaje termomecánico, dada su sencillez y bajo coste. Las desventajas de este método residen en la heterogeneidad de los residuos y el deterioro de las propiedades del polímero tras cada ciclo de extrusión, resultando los materiales reciclados en productos de bajo valor añadido.

**Palabras clave:** reciclado químico, poliéster, BHET, polímeros, residuos posconsumo.

### INTRODUCCIÓN

La gran mayoría de los polímeros sintéticos están diseñados para brindar rendimiento, durabilidad y, por lo tanto, no degradabilidad, lo que ha provocado un enorme problema de acumulación de residuos en las últimas décadas. De hecho, a finales de 2020, de las 55 millones de toneladas producidas en Europa, únicamente se recuperaron el 53% de los residuos plásticos posconsumo, donde el 42% fueron incinerados, el 35% reciclados y el 24% depositados en vertederos o en el medio natural [1].

Concretamente, el impacto ambiental asociado al sector textil se ha convertido en uno de los temas más preocupantes de la actualidad. En 2020, la industria mundial de textiles consumió aproximadamente 93.000 millones de m<sup>3</sup> de agua, generó 1.700 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub>, liberó alrededor de 1 millón de toneladas de microfibras a los océanos y fue responsable de 92 millones de toneladas de residuos, lo que representa entre el 3% y el 10% del impacto medioambiental de la UE. El creciente consumo de bienes textiles por parte de la población, unido al modelo de consumo actual, conlleva a la generación de grandes cantidades de residuos, donde solo en España se estima que el residuo anual de ropa asciende a 1.100.000 toneladas [2].

En cuanto a la producción mundial de fibras, de las 113 millones de toneladas producidas en 2021, aproximadamente el 64% fueron fibras sintéticas, el 30% fibras naturales y el 6% fibras artificiales. Entre las fibras sintéticas, destaca el poliéster, con

una cuota de mercado de aproximadamente el 90% del total de las fibras sintéticas, lo que representa una producción de 60 millones de toneladas anuales y una participación global del 54%, como se puede ver en la Figura 13 [3].

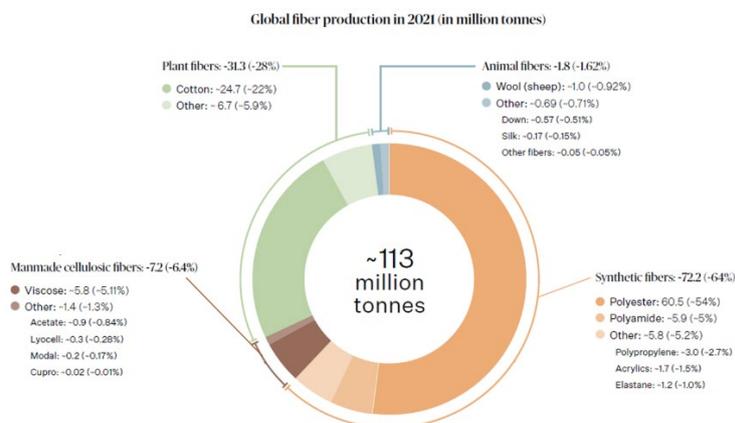


Figura 1. Producción global de fibras en 2021

Actualmente, en Europa, menos de la mitad de la ropa usada se recolecta para su reutilización o reciclaje cuando ya no se necesita, y solo el 1% se recicla en ropa nueva. En los últimos años, con el objetivo de dar respuesta al problema de la mala reciclabilidad de los polímeros de origen fósil, están emergiendo diferentes tecnologías basadas en el reciclaje químico, ya que los métodos tradicionales, como el primario (reuso-reutilización), el secundario (mecánico/termomecánico) y el cuaternario (recuperación de energía) no han proporcionado resultados satisfactorios.

En cuanto al reciclado del poliéster, la principal tecnología utilizada es el reciclaje termomecánico, dada su sencillez y bajo coste. El reciclado termomecánico consiste en un proceso físico en que los residuos textiles se clasifican, se lavan y se reprocessan mediante un proceso de extrusión (fusión). Las desventajas de este método residen, principalmente, en la heterogeneidad de los residuos sólidos y el deterioro de las propiedades del producto en cada ciclo de extrusión. Es por ello que la mayoría de las prendas que se reciclan mecánicamente se transforman en productos de bajo valor añadido, tales como piezas de inyección o material de relleno.

Por su parte, entre las diferentes tecnologías de reciclado químico, cabe destacar la purificación con disolventes, la depolimerización térmica y la depolimerización catalítica. Debido a las múltiples ventajas que presenta la depolimerización catalítica frente al resto de tecnologías, esta estrategia está siendo estudiada en mayor profundidad por la comunidad científica. Más concretamente, la depolimerización química de poliéster consiste en dividir las cadenas poliméricas en sus unidades fundamentales o monómeros mediante reacciones catalíticas.

Una vez terminada la reacción, el monómero se aísla, se purifica y se emplea en un nuevo proceso de polimerización que permite obtener el polímero virgen, como se aprecia en la Figura 14. La principal ventaja de este proceso es que permite reciclar los residuos un número infinito de veces sin pérdida de propiedades del polímero virgen. Entre los procesos de depolimerización disponibles, la glicólisis es la tecnología más estudiada y desarrollada debido a las numerosas ventajas que presenta: (1) simplicidad y flexibilidad, (2) bajo coste de inversión y mantenimiento, (3) condiciones de reacción más suaves, (4) baja volatilidad del solvente, (5) el principal producto es el tereftalato de

bis(2-hidroxietileno), BHET, un producto intermedio en la polimerización y (6) el proceso de glicólisis puede aplicarse fácilmente a las plantas de producción de PET convencionales [4].

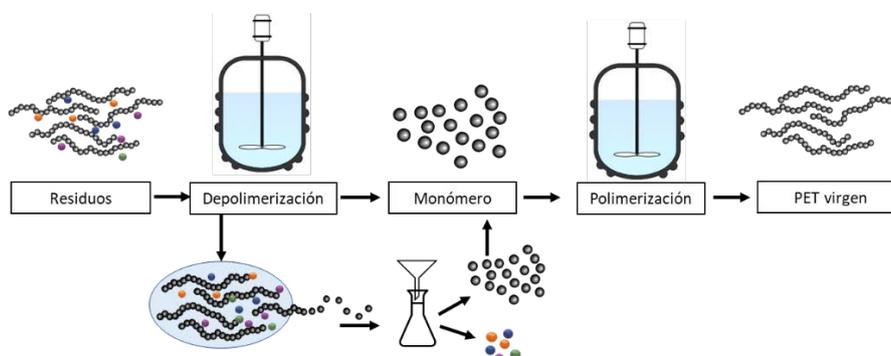


Figura 2. Depolimerización del poliéster (PET)

## OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto CHEMUP III es la validación e implementación del reciclado químico de residuos textiles a escala piloto. Concretamente, el Proyecto se centra en los siguientes objetivos específicos técnicos:

- Estudio y optimización del reciclado químico de residuos textiles de poliéster.
- Obtención de fibras a partir de poliéster reciclado químicamente.

## RESULTADOS

Gracias a la ejecución del Proyecto, se han obtenido importantes avances técnicos en las líneas de investigación propuestas, facilitando progresivamente la transición hacia una economía circular y alcanzando soluciones tecnológicas que permitan reducir los problemas medioambientales derivados de la acumulación de residuos textiles.

Para ello, se ha estudiado el reciclado químico de residuos textiles posconsumo procedentes de la recogida selectiva mediante contenedores localizados en la vía pública. Tras una separación y clasificación selectiva en origen por el gestor autorizado para su recogida, estos residuos han sido reciclados a través de procesos químicos según su composición.

En la ejecución del proyecto CHEMUP III, se ha llevado a cabo el reciclado químico de residuos textiles de poliéster a escala piloto mediante un proceso de depolimerización catalítica. Para ello, los residuos clasificados en origen por composición y color mediante tecnología Fibersort, han sido triturados, granceados y depolimerizados mediante un proceso de glicólisis, es decir, empleando etilenglicol como disolvente. En una primera etapa, la depolimerización del poliéster se ha realizado en un reactor *batch* de 20 L, lo que ha permitido la obtención, aislamiento y purificación del monómero (BHET) con rendimientos superiores al 90% y una pureza superior al 99.5%. Posteriormente, en una segunda etapa, se ha llevado a cabo el proceso de polimerización de BHET, obteniendo como producto un poliéster de viscosidad adecuada para la producción de fibras ( $IV = 0.62-0.65$  dL/g) con un rendimiento superior al 90%. En la Figura 15 se recogen los resultados obtenidos.



**Figura 3.** Resultados obtenidos tras el reciclado químico de los residuos textiles de poliéster

## CONCLUSIONES

Se ha estudiado, optimizado y validado el reciclado químico de residuos posconsumo de poliéster a escala piloto mediante un proceso de depolimerización-polimerización. En la etapa de depolimerización, tras el proceso de glicólisis, el monómero (BHET) ha sido aislado y purificado mediante procesos convencionales de filtración, lavado, adsorción con carbón activo y cristalización, lo que ha permitido la obtención de BHET con rendimientos cercanos al 90% y una pureza superior al 99.5%.

Tras una primera etapa de depolimerización por glicólisis, la segunda etapa del proceso de reciclado químico ha sido validada mediante un proceso de polimerización convencional y posterior polimerización en estado sólido (SSP). Así, a partir del BHET procedente de la depolimerización de residuos textiles, se ha obtenido poliéster virgen con una viscosidad adecuada (0.62-0.65 dL/g) para la obtención de nuevas fibras recicladas mediante procesos convencionales de hilatura por fusión.

## REFERENCIAS

- [1] Plastics Europe. (2022, 25 enero). *Plastics - the Facts 2021* • Plastics Europe. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2021/>
- [2] Análisis de la recogida de la ropa usada en España. (2021). *Moda Re-Recuperado* de <https://modare.org/wp-content/uploads/Análisis-de-la-recogida-de-la-ropa-usada-en-Espana.pdf> el 08/06/2023
- [3] *Preferred Fiber and Materials Market Report - Textile Exchange*. (2022, 14 diciembre). Textile Exchange. <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/preferred-fiber-and-materials/>
- [4] Sangalang, A., Seok, S., & Kim, H. J. (2016). Practical Design of Green Catalysts for PET Recycling and Energy Conversion. En *InTech eBooks*. <https://doi.org/10.5772/62041>

## INFLUENCIA DEL COMPOST EN EL PROCESO DE BIODEGRADABILIDAD DE TEXTILES

**Sánchez-Martínez, Ainhoa<sup>(1\*)</sup>, Belda-Anaya, Raquel<sup>(1)</sup>, Bou-Belda, Eva<sup>(1)</sup> Gisbert-Payá, Jaime<sup>(1)</sup>**

*(1) Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell n1, 03801 Alcoy, España.*

*(\*) aisanma1@epsa.upv.es*

### RESUMEN

El estudio de la biodegradabilidad en materiales textiles es un aspecto clave para mejorar el impacto medioambiental de los residuos textiles, ya que no es viable prolongar el reciclado de las materias textiles indefinidamente debido a la pérdida de sus propiedades. Establecer un método de medición válido y reproducible es esencial para la valoración de biodegradación de los textiles, ya que no existe un método específico para estos materiales.

En este proyecto se ha analizado la influencia del compost en el proceso de biodegradabilidad, con tal de determinar la reproducibilidad del método propuesto, estudiando, además, la influencia de la frecuencia de medición en un tiempo determinado.

Para ello, se han analizado dos ecosistemas con diferente compost. Tras el protocolo de medición propuesto, se ha definido que el método utilizado es reproducible, ya que el porcentaje de generación de CO<sub>2</sub> en ambos ecosistemas se mantiene.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, enterramiento, evaluación

### 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria textil se considera uno de los principales contaminantes industriales debido a diversos factores, como el alto consumo de energía, la generación de aguas residuales, la utilización de productos químicos, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la generación de residuos sólidos [1]. Con el objetivo de reducir el impacto ambiental perjudicial, el sector textil ha comenzado a implementar cambios sostenibles en su ciclo de producción. Sin embargo, a medida que la industria de la moda sigue creciendo y las demandas de los consumidores aumentan, la simple adopción de prácticas sostenibles en la fabricación textil no será suficiente. Es fundamental considerar también los impactos ambientales asociados al propio producto textil [2].

En la actualidad, solo se recicla aproximadamente el 12% de las fibras textiles vírgenes [1]. Como resultado, millones de toneladas de textiles terminan en vertederos en todo el mundo. Debido a la naturaleza no biodegradable y tóxica de los plásticos, los efectos nocivos de los materiales sintéticos depositados en vertederos sobre el medio ambiente son inconmensurables [2]. La principal problemática de los residuos sólidos textiles es que tardan en degradarse y los residuos sintéticos acaban generando microplásticos, normalmente, como consecuencia de su fotodegradación. Los microplásticos, fragmentos inferiores a 5 mm, se acumulan en el mar y el medio terrestre, alterando la calidad de las aguas, las cuales son absorbidas por plantas y animales y, finalmente, llegan a la cadena alimentaria humana [3].

Es por ello, que la nueva Directiva Europea sobre residuos ((UE) 2018/851), cuya trasposición deriva en la Ley 7/2022, cobra especial importancia. Esta obliga a los Estados miembros a la recogida selectiva de residuos textiles antes del 1 de enero de 2025 y a establecer objetivos para la reutilización y el reciclaje de residuos textiles, prohibiendo el vertido de textiles no usados y potenciando la economía circular [4].

Por lo que cobra importancia la medición de la biodegradabilidad de los textiles, ya que el proceso de reciclado textil no se puede prolongar indefinidamente por la pérdida de propiedades.

La biodegradación es un proceso natural en el cual los materiales orgánicos se descomponen y se desintegran gracias a la acción de las enzimas de microorganismos, como bacterias, hongos y algas. Estos microorganismos utilizan los materiales orgánicos como fuente de alimento y los transforman en compuestos más simples, como dióxido de carbono, agua, biomasa y otros productos biológicos.

Es importante destacar que la biodegradación es un proceso que ocurre en condiciones adecuadas, como la presencia de microorganismos, oxígeno, humedad y temperatura. La velocidad de biodegradación puede variar dependiendo de la composición del material, las condiciones ambientales y los microorganismos presentes. De esta forma, es destacable que la concentración y diversidad de comunidades microbianas son mayores en el suelo y el compost, con lo que estos medios admiten tasas más altas de biodegradación. Al igual, que una temperatura alta favorece la biodegradación [5].

En los últimos años, se han publicado numerosos trabajos de investigación dedicados a los estudios de biodegradación de materiales poliméricos de origen natural y sintético [6]. Existen diferentes ensayos de medición de biodegradabilidad en materiales plásticos, sin embargo, no existen normativas o metodologías específicas para los materiales textiles, los cuales difieren estructuralmente de los plásticos. Por lo que Muniyasami et al. [6] han llevado a cabo adaptaciones de dichas normativas a los materiales textiles. Sin embargo, no se determina la posible influencia de parámetros estructurales, ni de los tratamientos que se puedan haber aplicado a la tela. Además, no se describe la sensibilidad del procedimiento para determinar si las diferencias son sustanciales.

## **2. OBJETIVOS**

Tomando como punto de partida que no existe normativa específica para el estudio de la biodegradabilidad de materiales textiles, el equipo de investigación GIITEX ha propuesto un método de valoración de la biodegradabilidad acelerada de materias textiles por enterramiento en compost [7]. Por lo que el principal objetivo de este proyecto es investigar la influencia del compost utilizado en el proceso de biodegradabilidad desarrollado, con tal de determinar la reproducibilidad del método propuesto, estudiando, además, la influencia de la frecuencia de medición en un tiempo determinado.

## **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. MATERIALES**

En este estudio se utilizan dos recipientes de cristal con cierre hermético de una capacidad de 2,5 L. Estos contendrán perlita, tierra de cultivo universal y agua destilada.

La perlita ha sido adquirida de *Batlle* y la tierra de cultivo se ha adquirido de dos proveedores distintos, uno es *Batlle* y el otro *Jardinero Verde*.

Para la valoración de la biodegradabilidad se emplea una disolución de KOH 1 M, una disolución de BaCl<sub>2</sub> 1M, una disolución de HCl 1N y como indicador se emplea fenolftaleína. Todos los reactivos se han adquirido de Akralab, Sigma-Aldrich, España. Todas las disoluciones se preparan con agua destilada.

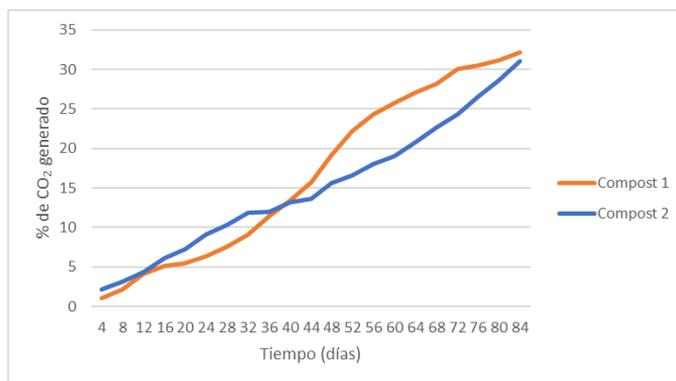
### 3.2. MÉTODOS

Se preparan dos ecosistemas que difieren en el substrato universal utilizado, aquel que ha utilizado compost de *Batlle*, se referencia como *compost 1* y aquel que ha utilizado el otro proveedor, se referencia como *compost 2*. Para crear los ecosistemas, se introducen 15 g de perlita en el fondo de cada recipiente y 15 mL de agua destilada. A continuación, se forma la siguiente capa introduciendo 100 g de tierra de cultivo universal. En un recipiente se introduce el *compost 1* y en el otro el *compost 2*. La última capa será, nuevamente, formada por 15 g de perlita humedecida con 15 mL de agua destilada. En este caso no se añade muestra textil, ya que el fin es la aceptación del método según su reproducibilidad, con lo que se valora únicamente la generación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del ecosistema creado.

Se realiza la valoración mediante titración [7] con una frecuencia de 2 días/semana en el ecosistema formado por el *compost 1* y con una frecuencia de 4 días/semana en el *compost 2*, con tal de determinar, igualmente, la influencia de la frecuencia de medición. El ensayo se realiza durante aproximadamente 84 días, determinando el porcentaje de de CO<sub>2</sub> generado por el ecosistema, con tal de poder ser comparable ya que no se está evaluando ninguna muestra textil para poder determinar la biodegradabilidad.

## 4. RESULTADOS

En la figura 1 se observa la evolución del porcentaje de dióxido de carbono generado en cada ecosistema creado. Con tal de poder ser comparables se ha adaptado la frecuencia de medida mayor a la menor, es decir, se ha ajustado la gráfica del *compost 1* a la frecuencia de 4 días/semana.



**Figura 1.** Influencia del compost en el proceso de biodegradabilidad de textiles propuesto.

Se observa como el porcentaje de dióxido de carbono generado a los 84 días de medición tiene valores muy similares en ambos ecosistemas, siendo en el *compost 1* del 32,95% y en el *compost 2* del 31,04%. Estos resultados indican que independientemente del compost utilizado el porcentaje de dióxido de carbono generado

en un tiempo determinado se mantiene. Sin embargo, se notan algunas desviaciones en el resto de días, destacando una desviación máxima de aproximadamente el 6% en el día 60, siendo el *compost 1* el que presenta mayores porcentajes. Estas desviaciones en los gráficos, por tanto, se pueden deber a la frecuencia de medición, teniendo así, resultados más precisos y con menos error en las frecuencias de medición altas.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se pretendía determinar la influencia del compost en el proceso de biodegradabilidad, con tal de determinar la reproducibilidad del método propuesto, estudiando, además, la influencia de la frecuencia de medición en un tiempo determinado.

Ante los resultados observados en la figura 1, se puede determinar que el método propuesto es reproducible, ya que el compost utilizado no influye en la generación de CO<sub>2</sub>, pues el porcentaje de dióxido de carbono generado es muy similar, con lo que también se mantendrá en mediciones que incluyan muestra textil a medir y, por tanto, el porcentaje de biodegradabilidad será el mismo, independientemente del compost utilizado.

Sin embargo, la frecuencia de medición influye, pues frecuencias de medición altas aportan más exactitud en los resultados y, con ello, menos error. Además, se concluye que los mg de CO<sub>2</sub> no son comparables entre ecosistemas medidos a frecuencias distintas, solo es comparable el porcentaje de CO<sub>2</sub> generado.

## 6. REFERENCIAS

- [1] KOSZEWSKA, Małgorzata. (2018) "Circular economy—Challenges for the textile and clothing industry". *Autex Research Journal*, v. 18, n. 4, p.p. 337-347
- [2] Hole, G., & Hole, A. S. (2019). "Recycling as the way to greener production: A mini review". *Journal of Cleaner Production*, v. 212, p.p. 910-915.
- [3] Arriaza, J., Sandoval, G., Cortes, E., & Pozo, K. (2018). "Un Mar de Micro Plásticos en Chile: Propuestas para minimizar sus efectos en Salud y el Medioambiente". Universidad San Sebastian Facultad de Ingeniería y Tecnología: <https://fit. Uss. Cl/proyectos/proyecto-8>.
- [4] Varela, A. J., & Rey, R. D. (2022). "Análisis de la nueva Ley de Residuos, 7/2022, de 8 de abril y sus implicaciones en la corresponsabilidad de la gestión de residuos en la industria textil". *Actualidad Jurídica Ambiental*, v. 129, p.p. 9-31.
- [5] BHAGWAT, Geetika, et al. (2020). "Benchmarking bioplastics: A natural step towards a sustainable future". *Journal of Polymers and the Environment*, v. 28, n. 12, p.p. 3055-3075.
- [6] Muniyasamy, S., & Patnaik, A. (2021) "Biodegradable Behavior of Waste Wool and Their Recycled Polyester Preforms in Aqueous and Soil Conditions", *Journal of Renewable Materials*, v. 9, n.10 p.p. 1661.
- [7] Sánchez-Martínez, E. Bou-Belda, L. Capablanca, J. Gisbert-Payá, M. Bonet-Aracil. (2022). "Método de valoración de la biodegradabilidad acelerada de materias textiles por enterramiento en compost" *Revista de Química e Industria Textil*, nº 241, pp. 27-31

## CircuitexVR: la realidad virtual como método educativo innovador

**Carbonell-Gisbert Rafael Jorge, Díaz-García, Pablo, Montava-Seguí, Ignacio, Belda-Anaya, Raquel**

*Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universidad Politécnica de València-Campus de Alcoi (Spain), rjcargis@epsa.upv.es*

### RESUMEN

Una de las principales ventajas de la realidad virtual en el contexto educativo es la capacidad de sumergir a los alumnos en una experiencia similar a la vida real. Esta inmersión permite a los estudiantes practicar y aplicar experimentos desde cualquier ubicación. Al brindar acceso remoto a un laboratorio virtual, se superan las limitaciones de tiempo y espacio, lo que resulta especialmente beneficioso para aquellos estudiantes que no tienen acceso físico a un laboratorio convencional.

La aplicación CircuitexVR, desarrollada para el proyecto Economía circular en compuestos fibrosos y textiles técnicos mediante el uso de laboratorios virtuales, presenta el uso de la realidad virtual como una herramienta educativa revolucionaria. Con la creación de un laboratorio virtual se ofrece la realización de experimentos virtuales en el campo de materiales compuestos reforzados con fibras y los textiles técnicos, integrado dentro de un curso de aprendizaje en línea (E-learning).

El laboratorio virtual desarrollado incluye modelos virtuales de equipos de laboratorio reales, mejorados con representaciones en 3D y movimiento virtual. Los estudiantes podrán acceder a este laboratorio virtual a través de sus dispositivos de realidad virtual Meta Quest, lo que les proporcionará una experiencia inmersiva en la simulación de un laboratorio textil.

**Palabras clave:** Realidad virtual, herramienta educativa, docencia, simulador, laboratorio virtual, E-Learning, inmersión, nuevas tecnologías.

### INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se emplean redes de comunicaciones como Internet para sistemas de “teleformación” en la enseñanza a distancia. Estos sistemas posibilitan la interacción entre todos los participantes del proceso educativo a través de herramientas síncronas y asíncronas, como chat, videoconferencia, correo electrónico y foros. Estas herramientas se integran en un entorno que facilita el proceso de aprendizaje [1].

Por otro lado, la realidad virtual ofrece la ventaja de experimentar situaciones controladas por el docente, con total control sobre los experimentos y una percepción cercana a la realidad para los estudiantes. Además, su potencial educativo se basa en el aprendizaje a través de la experiencia, siguiendo la corriente constructivista, donde el control sobre la percepción del estudiante en la realidad virtual permite guiarlos en situaciones didácticas concretas, logrando un aprendizaje significativo sin necesidad de utilizar más materiales que los propios de la realidad virtual [2].

Una de las principales fortalezas de la realidad virtual en la docencia es su capacidad para generar una mayor participación, motivación e interés por parte de los estudiantes.

Al sumergirse en entornos virtuales y poder interactuar con ellos, los estudiantes se sienten más comprometidos y entusiasmados con el proceso de aprendizaje [3].

CircuitexVR es una aplicación que forma parte del proyecto europeo CircuTex, financiado por el programa Erasmus+, que busca ofrecer un curso en línea sobre economía circular para materiales compuestos reforzados con fibras y textiles técnicos, cuyo objetivo es mejorar las habilidades en sostenibilidad de los estudiantes de educación superior en el campo textil y concienciar sobre la importancia de prolongar la vida útil y reducir los residuos en estos productos [4].

El proyecto cuenta con 5 socios de diferentes países europeos, formados por 4 universidades (University of Western Attica-Grecia, Kaunas University of Technology-Lituania, University of Oradea-Rumania y Universitat Politècnica de València-España) y una empresa griega dedicada al aprendizaje (IDEC S.A.).

La aplicación CircuitexVR, como complemento al curso e-learning ofrecido y que contiene experimentos de laboratorio en un entorno virtual, ha sido desarrollado con Unity3D, motor de videojuegos y herramienta de desarrollo de todo tipo de aplicaciones para un extenso abanico de tecnologías interactivas, como la realidad virtual. Toda la codificación, desarrollo de escenas, comportamientos y funcionalidades ha sido implementada con este programa. Además, los modelos 3D de los equipos han sido diseñados con la herramienta de modelaje tridimensional Blender.

Los tres grados de libertad que ofrece el dispositivo Meta Quest 2 permite que el usuario pueda moverse en la vida real y en la simulación de igual forma, además de la implementación con “Hand tracking”, que proporciona al usuario una experiencia inmersiva superior, al no tener que hacer uso de mandos o controladores adicionales para interactuar con el espacio de la simulación.

## OBJETIVOS

La aplicación CircuitexVR tiene como objetivo principal brindar a los estudiantes la oportunidad de realizar experimentos virtuales en un entorno de laboratorio virtual. Mediante el uso de modelos virtuales de equipos reales de laboratorio, mejorados con representaciones en 3D y movimiento virtual, los estudiantes podrán interactuar con los conceptos y fenómenos relacionados con los materiales compuestos de fibras y los textiles técnicos.

Con todo ello, se pretende:

- Proporcionar a los estudiantes una experiencia inmersiva y realista en un entorno virtual de laboratorio textil.
- Facilitar la práctica y aplicación de experimentos relacionados con los materiales compuestos reforzados con fibras y textiles técnicos.
- Mejorar las habilidades y conocimientos de los estudiantes y profesores en el campo de la realidad virtual.
- Ofrecer acceso remoto al laboratorio virtual, superando las limitaciones de tiempo y espacio para los estudiantes.
- Personalizar la experiencia de aprendizaje, adaptando los contenidos y actividades según el nivel y las necesidades individuales de los estudiantes.
- Proporcionar retroalimentación inmediata y evaluaciones interactivas para mejorar el proceso de aprendizaje.
- Promover la investigación y la exploración de nuevas aplicaciones y tecnologías en el ámbito de la docencia.

## RESULTADOS

La aplicación CircuitexVR se ha conseguido implementar para el dispositivo Meta Quest 2 de manera independiente, es decir, se puede ejecutar la aplicación sin necesidad de una computadora externa ni cables adicionales. Esto ha sido gracias a la optimización del código, la organización en diferentes escenas independientes y la mejora de rendimiento de los modelos 3D al reducir el número de polígonos de estos. Gracias a esta metodología de implementación, se ha conseguido una experiencia fluida con un alto número de fotogramas por segundo dando la inmersión y comodidad apropiada en un programa de realidad virtual.

Una de las tecnologías destacadas que ofrece el dispositivo Meta Quest 2 es el "Hand Tracking" o seguimiento de manos. Esta característica brinda a los usuarios la capacidad de interactuar plenamente con el entorno virtual sin necesidad de utilizar controladores. Gracias a las cuatro cámaras ubicadas en las esquinas de la parte frontal del dispositivo, se puede realizar un seguimiento y detección preciso de las manos. Esto permite a los usuarios realizar una variedad de acciones, como coger objetos virtuales, presionar botones, escribir en un teclado virtual y realizar gestos con las manos.

La aplicación fue presentada y probada por los socios del proyecto durante una actividad de enseñanza, formación y aprendizaje, que tenía como objetivo formar a los participantes en el uso de las gafas y la aplicación para su posterior utilización como herramienta de formación en el curso desarrollado y ofrecido en el proyecto. Durante estas pruebas, se obtuvieron resultados destacados. En primer lugar, se observó un incremento en la capacidad de los participantes para utilizar la realidad virtual como una herramienta educativa innovadora y efectiva. La incorporación del "Hand Tracking" en CircuitexVR ha demostrado ser una experiencia más cómoda y fácil de usar en comparación con los controladores tradicionales del dispositivo. Esto ha llevado a una mayor participación de los profesores en el desarrollo de actividades y experimentos virtuales en el ámbito del laboratorio textil.

Además, se ha evidenciado una mejora en la calidad de la enseñanza, ya que los profesores pueden proporcionar a los estudiantes experiencias prácticas y realistas a través de la realidad virtual. Esta tecnología ha fortalecido la colaboración y el intercambio de conocimientos entre los profesores de diferentes países, quienes han compartido experiencias y buenas prácticas en la implementación de la realidad virtual en la enseñanza en materia textil. Como resultado, se ha fomentado la creatividad y la innovación en los enfoques educativos, al integrar tecnologías de vanguardia como la realidad virtual en el aula.

La retroalimentación de las personas que participaron en la actividad resultó fundamental para el proceso de mejora de la aplicación. Al recibir comentarios y opiniones directamente de los usuarios, el equipo de desarrollo pudo identificar aspectos que generaron satisfacción y aquellos que requerían modificaciones o mejoras. Esta interacción entre los usuarios y los desarrolladores han permitido afinar y perfeccionar la aplicación CircuitexVR, brindando una experiencia aún más enriquecedora.

## CONCLUSIONES

La aplicación CircuitexVR ha demostrado ser una herramienta educativa revolucionaria que utiliza la realidad virtual para mejorar el aprendizaje de los estudiantes en el campo de los materiales compuestos de fibras y los textiles técnicos, brindando una experiencia inmersiva, práctica y segura. Además, ha contribuido al fortalecimiento de los

conocimientos de los formadores en el manejo de esta tecnología, la colaboración internacional y la formación de futuros profesionales conscientes de la sostenibilidad y la circularidad en la industria textil.

La innovación con la realidad virtual en la educación representa una verdadera revolución en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Al brindar experiencias más inmersivas, interactivas y personalizadas, esta tecnología tiene el potencial de transformar por completo la forma en que se transmiten y adquieren conocimientos.

La realidad virtual permite a los estudiantes sumergirse en entornos virtuales que simulan situaciones de la vida real de manera sorprendentemente realista, estimulando los sentidos y creando una sensación de presencia, lo que aumenta significativamente la atención y el compromiso de los estudiantes. En lugar de ser meros espectadores pasivos, los estudiantes se convierten en participantes activos en su propio proceso de aprendizaje, explorando, experimentando y resolviendo problemas de manera práctica.

Además, la interactividad que ofrece la realidad virtual impulsa el compromiso y la participación de los estudiantes. Pueden interactuar con objetos virtuales, realizar simulaciones, manipular elementos y experimentar las consecuencias de sus acciones, todo dentro de un entorno seguro y controlado. Esta capacidad de experimentación y práctica permite un aprendizaje más profundo y significativo, comprendiendo directamente las aplicaciones prácticas de los conceptos teóricos que están estudiando.

## AGRADECIMIENTOS

El proyecto CircuTex está financiado por el programa Erasmus+ de la Unión Europea con el número de referencia 2021-1-ES01-KA220-HED-000032075. El apoyo de la Comisión Europea a la elaboración de esta publicación no constituye una aprobación de su contenido, que refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

## REFERENCIAS

- [1] Ocete, G. V., Carrillo, J. A. O., & González, M. Á. B. (2003). La realidad virtual y sus posibilidades didácticas. *Etic@ net: Revista científica electrónica de Educación y Comunicación en la Sociedad del Conocimiento*, (2), 12.
- [2] Toala, S. M. T. (2023). La realidad virtual como recurso educativo en las ciencias experimentales. *Polo del Conocimiento*, 8(6), 634-644.
- [3] Ayala Pezzutti, R. J., Laurente Cárdenas, C. M., Escuza Mesías, C. D., Núñez Lira, L. A., & Díaz Dumont, J. R. (2020). Mundos virtuales y el aprendizaje inmersivo en educación superior. *Propósitos y representaciones*, 8(1).
- [4] Díaz-García, P., Capablanca-Francés, L., Belda-Anaya, R., Mikucioniene, D., Indrie, L., Dimopoulou, N., & Priniotakis, G. (2022). CIRCULAR ECONOMY OF FIBROUS COMPOSITES AND TECHNICAL TEXTILES E-LEARNING. In ICERI2022 Proceedings (pp. 4090-4094). IATED.

## Proyecto REWAFT – Una herramienta online para la reducción de la huella hídrica en el sector textil

Mínguez-García, David<sup>(1)</sup>, Díaz-García, Pablo<sup>(2)</sup>, Bou-Belda, Eva<sup>(3)</sup>, Belda-Anaya, Raquel<sup>(4)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València-Campus de Alcoy (Spain), [damingar@epsa.upv.es](mailto:damingar@epsa.upv.es)

(2) Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València-Campus de Alcoy (Spain), [pdiazga@txp.upv.es](mailto:pdiazga@txp.upv.es)

(3) Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València-Campus de Alcoy (Spain), [evbobel@upvnet.upv.es](mailto:evbobel@upvnet.upv.es)

(4) Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València-Campus de Alcoy (Spain), [rabelan@txp.upv.es](mailto:rabelan@txp.upv.es)

### RESUMEN

La huella hídrica se refiere a un indicador medioambiental que determina el volumen total de agua dulce utilizada en la producción de los bienes y servicios que son consumidos habitualmente, midiendo al mismo tiempo el impacto medioambiental de dicha actividad. En la industria textil se emplean cantidades significativas de agua en multitud de procesos. La tendencia *fast fashion*, es decir, el diseño y producción de prendas a un ritmo muy acelerado ha supuesto un gran incremento en el consumo de agua dulce en las últimas décadas. Por este motivo, la medida de la huella hídrica resulta de suma importancia, así como concienciar a las empresas para que comprendan mejor la situación, fomenten la medición de la huella hídrica en sus actividades y busquen alternativas que reduzcan dicho impacto.

El proyecto REWAFT busca crear conciencia sobre la huella hídrica en el sector textil a través de una herramienta en línea que permitirá a las empresas medir y reducir este indicador. Además, se ofrecerá un curso en línea para empresas y se organizarán seminarios para estudiantes de ingeniería textil, con el objetivo de fortalecer las capacidades de sostenibilidad en la reducción de la huella hídrica en ambos casos.

**Palabras clave:** footprint, agua, reducción, consumo, formación, seminario, herramienta, impacto.

### INTRODUCCIÓN

El agua es esencial a lo largo de todo el ciclo de vida de los textiles y se requieren cantidades significativas para realizar procesos como enriado, descruado, aprestado, teñido, acabado, lavado, blanqueado, entre otros [1]. A este alto consumo de agua utilizado a lo largo de las diversas etapas de la cadena de suministro, se le suma el crecimiento de la producción textil en la última década a nivel mundial, influenciado en gran medida por el fenómeno del *fast fashion*, donde la vida útil de las prendas es cada vez más corta. Además, el sistema actual de producción, distribución y uso en la industria textil se caracteriza por ser lineal, empleando grandes cantidades de recursos no renovables para fabricar productos de vida útil reducida, muchos de los cuales terminan en vertederos sin ser reciclados o reutilizados [2].

La huella hídrica (HH) es un indicador multidimensional que evalúa el uso de agua dulce, mostrando los volúmenes de consumo según su origen y los volúmenes relacionados

con la contaminación [3]. Este indicador tiene en cuenta tres tipos de huella: HH azul, HH verde y HH gris. La HH azul se refiere al volumen de agua dulce superficial o subterránea evaporada, incorporada en el producto, retornada a otra cuenca o vertida al mar. Por otro lado, la HH verde se refiere al volumen de agua de lluvia evaporada y evapotranspirada por las plantas o incorporada al producto que se consume antes de verse en escorrentía. Por último, la HH gris se relaciona con la contaminación, y se define como el volumen de agua dulce requerida para asimilar la carga de contaminantes teniendo en cuenta las concentraciones naturales y las normas de calidad ambientales del agua vigentes [4]. El análisis y la evaluación de la huella hídrica (HH) consisten en medir la cantidad de agua utilizada en un proceso y/o producto, evaluar su sostenibilidad medioambiental, social y económica, y desarrollar estrategias de respuesta [5].

La HH es una medida que contribuye al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), fomentando iniciativas para reducir el consumo de agua y promoviendo la gestión sostenible y eficiente de los recursos naturales. Esto se refleja en objetivos como el acceso a agua potable y a servicios de saneamiento (ODS 6), la producción y consumo responsable (ODS 12), el ODS 1 donde la adecuada gestión del agua es un primer paso para conseguir “Erradicar la pobreza”, o el ODS 7 en el cual la gestión sostenible de vertidos y reutilización del agua se encuentra estrechamente vinculado con una “Energía asequible y no contaminante”.

La huella hídrica nos permite comprender y evaluar cómo se consume y contamina nuestro limitado recurso de agua dulce [5]. Por lo tanto, el proyecto REWAFT tiene como objetivo crear conciencia sobre la importancia de reducir la Huella Hídrica y capacitar a formadores, estudiantes y personal de empresas en la medición y evaluación del uso del agua en el sector textil.

## **OBJETIVOS**

Este proyecto tiene como objetivo generar conciencia sobre el uso del agua y la Huella Hídrica en el sector textil, al mismo tiempo que brinda formación a estudiantes de educación superior y al personal de empresas sobre cómo disminuir la huella hídrica en la industria textil.

Para lograr este objetivo, se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar y proporcionar un modelo y una herramienta online que permita a las empresas del sector textil medir la huella hídrica de sus empresas, procesos o productos.
- Desarrollar seminarios dirigidos a estudiantes de educación superior para ayudarles a adquirir los conocimientos necesarios para identificar, medir y reducir la huella hídrica en el sector textil.
- Desarrollar un curso de formación en línea (e-learning) para capacitar al personal de empresas textiles en la gestión de la huella hídrica.
- Recopilar buenas prácticas de empresas textiles que demuestren un uso sostenible del agua en el sector textil.
- Facilitar el encuentro entre el mundo académico y la industria mediante la realización de conferencias a cargo de expertos del sector empresarial.

## METODOLOGÍA

REWAFT es un proyecto enmarcado en el programa Erasmus+ y financiado por la Unión Europea. Comenzó en noviembre de 2022 y tiene una duración de 24 meses. Este proyecto cuenta con la participación de 6 socios de diferentes países europeos, tres de ellos son universidades que ofrecen estudios de grado y posgrado en el campo textil: University of Western Attica en Grecia, Kaunas University of Technology en Lituania y Universitat Politècnica de València en España. También participa la Asociación Lituana de la Industria Textil y de la Confección (LATIA), que representa a varias empresas textiles en Lituania. Otro socio es Water Footprint Network (WFN), una organización internacional sin fines de lucro con sede en los Países Bajos que promueve el uso justo e inteligente de los recursos de agua dulce en todo el mundo, utilizando el concepto de huella hídrica. Por último, una empresa griega llamada IDEC, especializada en formación, consultoría de gestión, garantía de calidad y desarrollo de soluciones TIC para el sector público y privado.

El proyecto está estructurado en 5 paquetes de trabajo, dos de ellos son paquetes transversales que abordan el sistema garantía de calidad, para controlar y garantizar la calidad de los resultados del proyecto y su impacto; y la difusión del proyecto, donde se determinan las actividades de promoción que va a realizar cada socio con el objetivo de transmitir y divulgar los objetivos y resultados del proyecto; así como su plan de sostenibilidad una vez finalizado. Simultáneamente, se elabora una encuesta sobre el consumo de agua y el concepto de huella hídrica para determinar el conocimiento y la implementación de herramientas de cálculo en empresas del sector textil. Con los resultados obtenidos, se elaborará un informe consolidado a nivel europeo y se desarrollará una herramienta para medir el indicador de huella hídrica en las industrias, la cual les ayudará a evaluar su HH y a desarrollar un plan de acción para reducirla.

Otro paquete de trabajo se centra en el diseño de una serie de seminarios y materiales de aprendizaje dirigidos a estudiantes. Esto incluye la organización de un taller de formación transnacional para profesores de educación superior y expertos empresariales, así como la realización de seminarios para estudiantes con la colaboración de expertos invitados del mundo empresarial.

Como último paquete de trabajo del proyecto se desarrollará el contenido de un curso en línea sobre la HH dirigido a responsables y personal que trabajen en empresas textiles. El objetivo de este curso es establecer planes de acción y tomar decisiones estratégicas para reducir la huella hídrica en las empresas que lo implementen. Las acciones de mejora propuestas se recopilarán en un informe que servirá como guía y apoyo para aquellos que deseen implementar la herramienta y medir la huella hídrica de sus procesos, con el objetivo de gestionar de manera eficiente el consumo y uso del agua.

## RESULTADOS

Los resultados que se pretenden conseguir durante el desarrollo del proyecto son los siguientes:

- Informe combinado con estudios de casos empresariales textiles sobre el uso eficiente del agua.
- Marco de modelización para el cálculo de la huella hídrica.

- Herramienta en línea para el cálculo de la huella hídrica y su pilotaje/medición en empresas textiles.
- Seminarios y material didáctico para estudiantes de educación superior, desarrollados en colaboración con expertos de la industria, fomentando la colaboración beneficiosa entre instituciones educativas y empresas.
- Curso e-learning sobre la huella hídrica para representantes de empresas textiles y la impartición de este para concienciar y sensibilizar sobre el impacto del consumo del agua en el sector textil. El curso estará disponible en una plataforma online.

## CONCLUSIONES

Debido a los intensivos procesos y la liberación de sustancias químicas contaminantes, el sector textil se encuentra entre los mayores consumidores de agua en la industria. Esto hace que su huella hídrica sea significativa tanto en términos de cantidad como de calidad del agua. Es crucial que la industria textil adopte prácticas más sostenibles para reducir su huella hídrica y minimizar su impacto ambiental. El objetivo principal del proyecto REWAFI busca ayudar a las empresas a conocer el volumen de agua consumida y las aguas residuales generadas, así como establecer planes de acción que mejoren su índice de huella hídrica. Esto no solo beneficia a las empresas, sino también a la sociedad y al ecosistema en general. Además, el proyecto busca fomentar la colaboración entre empresas y universidades para compartir buenas prácticas y soluciones para la reducción de la huella hídrica.

## AGRADECIMIENTOS

El proyecto REWAFI es un proyecto financiado por la Unión Europea bajo el acuerdo de subvención nº 2022-1-LT01-KA220-HED-000086367. No obstante, los puntos de vista y opiniones expresados son exclusivamente los del autor o autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea ni los de la Agencia Ejecutiva en el Ámbito Educativo y Cultural Europeo (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser consideradas responsables de las mismas.

## REFERENCIAS

- [1] Chen, F., Shen, Y., Liu, S., Yang, Y., & Wang, L. (2021). Water footprint of textile industry: a case study of china. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 20(2).
- [2] Andrade Ascencio, M. J., Aponte Parejo, J. E., & Gale Coronado, P. A. (2022). Relación entre la producción “fast fashion” y la huella hídrica de la industria textil en China y Colombia: una revisión de su posible impacto a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).
- [3] Sánchez, M. B., & Uribe, C. (2018). Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil. *Revista Campus*, 23(26).
- [4] Hossain, L., & Khan, M. S. (2020). Water footprint management for sustainable growth in the Bangladesh apparel sector. *Water*, 12(10), 2760.
- [5] Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2010). Manual de Evaluación de la huella hídrica. *Definiendo una norma global*.

## Desarrollo de NF de PVA insolubles en H<sub>2</sub>O

López-Ricart, María<sup>(1\*)</sup>, Mínguez-García, David<sup>(1)</sup>, Bou-Belda, Eva<sup>(1)</sup>, Díaz-García, Pablo<sup>(1)</sup>

(1) GIITEX. Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. Universitat Politècnica de València. Plaza Ferrandiz y Carbonell nº 1. 03801 Alcoy. Spain

(\*) mlopric@epsa.upv.es

### RESUMEN

El PVA (alcohol de polivinilo) se caracteriza por su solubilidad en agua, por lo que para obtener su solución polimérica se utiliza este medio como disolvente. Sin embargo, dependiendo de su aplicación final se busca poder insolubilizarlo. En este artículo se compara la solubilidad de un velo de NF de PVA frente a otro velo de NF de PVA con la presencia de CA (ácido cítrico) en su disolución polimérica.

Tras electrohilar ambas soluciones poliméricas para formar el velo de NF, se aplica un tratamiento térmico para termofijar las nanofibras, con el objetivo de evitar que se deforme la capa de NF facilitando así la separación del velo del sustrato base. Posteriormente, una vez separados los velos del sustrato base, se realizan dos pruebas de solubilidad: una primera prueba donde se sumergen los velos de NF en agua destilada a temperatura ambiente y una segunda prueba donde se sumergen en agua destilada calentada a una temperatura de 100°C, ya que dado el peso molecular del PVA empleado, éste es soluble a 80°C. Ambos ensayos se basan en el mismo proceso, sumergir velos de nanofibras durante 5, 10, 15, 20 y 25 minutos para observar su comportamiento frente al agua.

**Palabras clave:** PVA, CA, solubilidad, agua, electrohilatura, nanofibras.

### INTRODUCCIÓN

El PVA se caracteriza por su buena resistencia química, sus propiedades físicas y su biodegradabilidad, por lo que se ha utilizado en muchas aplicaciones. Sin embargo, sus propiedades mecánicas se ven afectadas por su alto grado de hidrólisis[1]. En cambio, existen diferentes métodos para conservar la estructura de NF de PVA con el contacto de agua. Uno de estos métodos es la utilización de CA en la disolución polimérica del velo de NF. El CA está compuesto por un grupo hidróxilo y tres grupos de cabroxidos, lo que provoca entrecruzamiento debido a la formación de enlaces de puentes de hidrógeno y por tanto cambios en la capacidad de absorción de las moléculas de agua [2].

Por otro lado, para la obtención del velo de NF se ha optado por utilizar la electrohilatura. Esta técnica permite producir NF continuas de tamaño variable, entre los nanómetros y micrómetros, mediante una solución polimérica en este caso de PVA utilizando como disolvente agua destilada. Esta técnica se caracteriza por sus ventajas como son la alta relación existente entre la superficie electrohilada y el volumen y su alto grado de porosidad [3].

## OBJETIVOS

En el siguiente artículo se pretende desarrollar NF de PVA insolubles en agua al añadir CA en su disolución polimérica para poder mejorar las propiedades mecánicas del PVA. Para ello, se pretende evaluar esta insolubilidad del PVA mediante dos pruebas, una utilizando agua destilada a temperatura ambiente y otra aplicando agua destilada a una temperatura de 100°C.

Por lo que los objetivos principales de este artículo son los siguientes:

- Determinar la influencia de CA en la disolución polimérica del PVA.
- Evaluar la capacidad de insolubilidad del velo de NF electrohilado con la disolución polimérica de PVA y CA.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### MATERIALES

En esta investigación se utilizan dos disoluciones para electrohilar. La primera disolución utilizada en el electrohilado es de alcohol de polivinilo (PVA) Mw 61.000 g/mol suministrado por Sigma-Aldrich y la segunda disolución preparada para electrohilar utiliza el mismo PVA y ácido cítrico (CA) Mw 192,13 g/mol suministrado por Panreac. Se emplea papel celulósico, tejido 100% poliéster y tejido 100% algodón como sustrato base. El equipo empleado para la electrohilatura es un Nanospider by Bioncidea.

### MÉTODOS

Las nanofibras de la primera disolución se electrohilieron a partir de una disolución de PVA al 11% p/v disuelto en agua destilada a una temperatura de 80°C con agitación magnética durante 2 horas. Las NF se electrohilieron sobre papel celulósico como sustrato base, con un caudal de alimentación de 0,5 ml/h, aplicando un voltaje de 9,9 kV, a una distancia de 15 cm durante un tiempo de 120 minutos. Este proceso se ha desarrollado con unos parámetros ambientales concretos, una temperatura ambiente de 23,5°C y una humedad relativa de 58%.

Para la segunda disolución, se electrohilieron NF con una disolución de PVA y CA con una concentración del 11% y 10%, respectivamente, disuelto en agua destilada a una temperatura de 80°C mediante agitación magnética durante 2 horas. Se necesita una cantidad elevada de CA para obtener fibras con menor absorción de agua por parte del PVA. Estas NF han sido electrohiladas sobre tres sustratos base distintos: papel celulósico, tejido 100% poliéster y tejido 100% algodón. Las NF se electrohilieron en las tres muestras con un caudal de alimentación de 0,5 ml/h, utilizando un voltaje de 10,9 kV, 10,3 kV y 9,4 kV respectivamente, a una distancia de 15 cm durante un tiempo de 120 minutos. Este proceso se ha desarrollado a una temperatura ambiente entre los 23°C y 24°C y una humedad relativa entre 57- 58%.

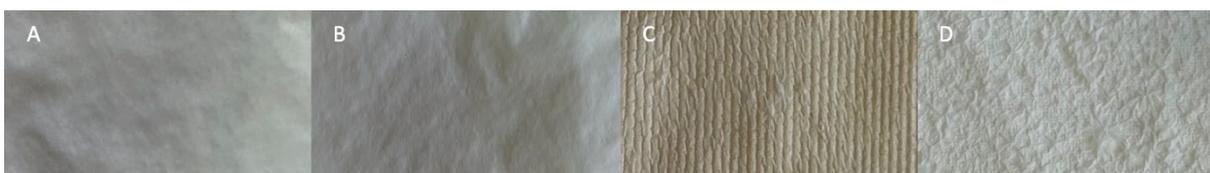
La caracterización de los velos de NF se ha realizado a partir de la microscopia electrónica de barrido (SEM) para observar el tamaño de las fibras y su superficie. Se ha utilizado para ello un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo con columna de iones focalizados (FIB) Zeiss Auriga Compact. Las muestras se han recubierto previamente de platino.

Al obtener los velos de NF se aplica un tratamiento térmico 190°C durante 10 minutos con el fin de termofijar las NF y poder separar las NF del sustrato base utilizado. A continuación, se realizan dos pruebas de solubilidad, a temperatura ambiente y a una temperatura de 100°C. En primer lugar, se preparan 5 muestras de cada uno de los velos para sumergirlos en agua destilada a temperatura ambiente. Se van extrayendo las muestras cada 5, 10, 15, 20, 25 minutos para observar su solubilidad en agua. Si las muestras presentan un grado de insolubilidad elevado, se realiza el mismo ensayo a una temperatura de 100 °C.

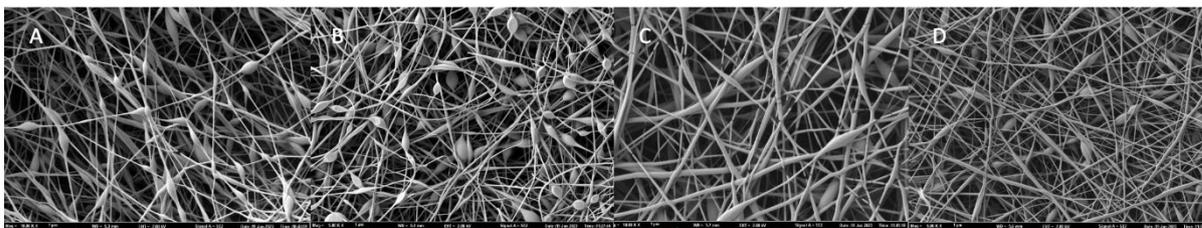
## RESULTADOS

Las dos disoluciones preparadas para electrohilar han sido caracterizadas para observar las diferencias que puede provocar la presencia de CA en una de ellas. Una de las variaciones más notables en la disolución con CA es el aumento de la conductividad que puede afectar en el diámetro de las NF obteniéndolas con un tamaño de diámetro menor. Por otro lado, tal y como cabía esperar, al añadir el CA el pH ha disminuido en esta disolución polimérica frente a la disolución de PVA, obteniendo valores un 50% menores.

La disolución polimérica de PVA se ha electrohilado sobre papel celulósico como sustrato base y la disolución polimérica compuesta por PVA y CA se ha electrohilado en distintos sustratos bases: papel celulósico, tejido 100% poliéster y tejido 100% algodón. Tras realizar la reticulación de las NF electrohiladas en los cuatro sustratos se han generado variaciones. Todas las muestras se han obtenido con un color blanquecino excepto la muestra 3, que ha sido electrohilada en el tejido 100% poliéster, posee un color más amarillento (Figura 1 (C)). Esto ha podido suceder por los tratamientos que han sido aplicados en las fibras de poliéster al generar el tejido y que pueden llegar a reaccionar con el CA al aplicar temperatura, este resultado obtenido suscita a posteriores investigaciones que se podrían realizar. Por otro lado, el tejido de algodón ha formado una superficie irregular (Figura 1 (D)) pudiendo interpretar resultados erróneos, sin embargo, al visualizar las fibras en el microscopio se observa en la Figura 2 D como las fibras se han formado de forma correcta.



**Figura 1.** Nanofibras electrohiladas de PVA 11% sobre papel celulósico (A), nanofibras electrohiladas de PVA 11% y CA 10% sobre papel celulósico (B), sobre PES (C) y sobre Co (D).



**Figura 2.** Nanofibras electrohiladas de PVA 11% sobre papel celulósico (A), nanofibras electrohiladas de PVA 11% y CA 10% sobre papel celulósico (B), sobre PES (C) y sobre Co (D).

Una vez analizadas las cuatro muestras se realizan las pruebas de solubilidad de las muestras A y B, ya que ambas han sido electrohiladas sobre el mismo sustrato base, en este caso papel celulósico. A partir de las pruebas de solubilidad de ambos velos de NF se han obtenido resultados distintos. Al realizar la primera prueba utilizando agua destilada a temperatura ambiente, se obtiene que la muestra A es soluble en agua con el mínimo contacto de esta. Sin embargo, la muestra B presenta una alta resistencia frente al agua por lo que es insoluble. Por ello, tras realizar la segunda prueba de solubilidad utilizando agua destilada a 100°C, la muestra B sigue presentando un nivel de insolubilidad en agua alto. No se precisa realizar esta segunda prueba a la muestra A, ya que en la primera prueba no presentó insolubilidad frente al agua.

## CONCLUSIONES

La investigación realizada ha demostrado que la presencia de CA en la disolución polimérica de PVA a altos niveles consigue insolubilizar las NF de PVA frente al agua. Esta insolubilización llega a mantenerse desde la aplicación de agua destilada a temperatura ambiente hasta temperaturas superiores a las de la solubilización del PVA, en este caso se ha ensayado hasta los 100°C.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo desean expresar su agradecimiento al patrocinador por su apoyo. La investigación ha sido financiada por el INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD (IVACE), con la línea nominativa a favor de la Universitat Politècnica de València, aprobada por la Ley de Presupuesto de la Generalitat Valenciana de los años 2020, 2021, 2022 y 2023.

## REFERENCIAS

- [1] Ding, B., Kim, H. Y., Lee, S. C., Lee, D. R., & Choi, K. J. (2002). Preparation and characterization of nanoscaled poly (vinyl alcohol) fibers via electrospinning. *Fibers and Polymers*, 3, 73-79. <https://doi.org/10.1007/BF02875403>
- [2] Espinoza Orellana, S., & Rojas Beltrán, J. (2019). Materiales compuestos de almidón/alcohol polivinílico para la liberación controlada de urea. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(1), 07-15.
- [3] Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology advances*, 28(3), 325-347. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.01.004>

## Diseño e implementación de una Base de Datos que permite evaluar distintos algoritmos de asignación de recursos en pacientes oncológicos

A. Molina-Picó<sup>(1)</sup>, S. Oltra-Crespo<sup>(2)</sup>, P. Miró-Martínez<sup>(2)</sup> X. A. Martín-Solano<sup>(2)</sup>

(1) Departamento de Informàtica de Sistemas y Computadores,

(2) Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad  
Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante)  
e-mail: antoniomolina@disca.upv.es

### RESUMEN

La asignación de recursos y tratamientos a pacientes que sufren cáncer suponen un problema para la mayoría de especialistas médicos, por multitud de razones: estado de los pacientes, personal disponible, periodicidad en los tratamientos, restricciones presupuestarias, etc. Todas estas combinaciones hacen que sea necesario dotar a este proceso de una ayuda informática en la toma de decisiones. Este estudio es parte de un proyecto financiado por la propia UPV (PAID 06-22), en el que se pretende evaluar distintos algoritmos de planificación, encontrando aquella solución que, respetando las reglas, permita disminuir el estado del tumor a nivel grupal. En este estudio se ha llevado a cabo la implementación de una base de datos que permita recoger mediante datos simulados la progresión en clínicas hospitalarias de pacientes oncológicos, con el objetivo de asignar los recursos disponibles de la manera más eficiente posible. La base de datos debe contemplar los propios datos del paciente, el cáncer que padece, los recursos del centro médico y los eventos que pueden ir generando el sistema.

**Palabras clave:** Base de datos, Algoritmos, Planificación hospitalaria

### INTRODUCCIÓN

Este proyecto nace de un estudio previo [1] en el que se propone un algoritmo de planificación que combina la simulación con el método heurístico BR (*biased-randomized*). En este artículo analiza el problema de manera estática, sin que los pacientes puedan entrar o salir del sistema y sólo tiene en cuenta seis periodos temporales, tiempo fijo e insuficiente que no permite a la mayoría de pacientes finalizar la simulación completa de los tratamientos asignados. También en este estudio, el objetivo buscado es el de encontrar aquella asignación de recursos que disminuye el tamaño del tumor grupal, siendo ésta la única variable a optimizar. Sin embargo, en [2] se indica que más del 90% de los pacientes de cáncer mueren debido a metástasis distantes y no debido al tumor principal, que suele ser tratado localmente. En [3] se dispone de un software libre capaz de emular el comportamiento del crecimiento del tumor primario, la posible formación de metástasis y los efectos de varios tratamientos.

### OBJETIVOS

Uno de los objetivos específicos (OE2) del proyecto de investigación PAID-06-22 es diseñar e implementar una base de datos que permita mantener toda la información generada por el sistema simulado y que permita aplicar los distintos algoritmos de asignación de recursos para poder comparar cuál es la planificación más óptima. El sistema debe diseñarse de tal manera que ofrezca un comportamiento dinámico en la simulación, ya que se deben suceder eventos como son la entrada de nuevos pacientes,

el empeoramiento del estado de un tumor o la posibilidad de metástasis. Los tratamientos que tiene asignados un paciente se deben ir introduciendo en esta simulación y, por tanto, deben reflejarse en la base de datos. También los recursos disponibles que permitan la aplicación de los tratamientos, sean recursos de infraestructura, personal, equipamiento o medicaciones. Y, por último, debe mantenerse la información relativa al algoritmo de asignación seguido. En [1] se realiza una comparación de dos algoritmos de asignación, uno completamente determinista y otro, que como ya hemos dicho, aplica el método *biased-randomized*. La base de datos debe poder incluir éstos y otros algoritmos, con los parámetros de configuración que apliquen.

## DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

La base de datos debe mantener la información referente a las entidades mencionadas anteriormente. Las tablas y los campos que deben incluir dichas tablas son:

### Tabla Pacientes

En este estudio solo interesa mantener aquella información de los pacientes que pueda ser relevante en el análisis evolutivo del tumor. Debe contemplar campos como la edad, el sexo, la condición física o la predisposición genética.

### Tabla Tumor

Definimos los registros de esta tabla, como aquella entidad física del paciente que contiene células cancerígenas. El paciente debe tener asignado como mínimo un registro de esta tabla (tumor principal). Pero hay una serie de eventos que pueden generarse como son la apoptosis o la transferencia de células a otros órganos por el flujo sanguíneo (metástasis) que ocasione que un paciente pueda tener asociado varios registros. Los registros que deben componer esta tabla son:

- Tipo: Principal, flujo sanguíneo o metastasis.
- Lugar: Localización del tumor: vejiga, mama, colorectal, renal, pulmón, linfático, páncreas, próstata, piel y útero.
- Tamaño máximo, inicial y actual: Marca la evolución del tumor.
- Estado: Activo (aumenta únicamente su tamaño), Dispersivo (crece y las células pueden transferirse a otros órganos), Inactivo (no crece).

### Tabla Recursos

La tabla recursos mantiene el tipo de recurso y un nombre que en cierta manera lo identifique de una forma más concreta. Por ejemplo, en el caso de los recursos de tipo personal, el nombre identifica la profesión del personal: cirujano, especialista, anestesista, auxiliar, etc. Esta tabla también debe disponer de un campo booleano que indique su disponibilidad durante la simulación. Cuando un tratamiento empieza, el recurso se marca como ocupado y al finalizar, como disponible.

### Tabla MétodoAsignación

La tabla MetodoAsignación identifica al algoritmo de asignación que se está aplicando. Cada algoritmo dispone de una tabla con distintos campos según la configuración. Por ejemplo, en el caso de seguir el algoritmo BR propuesto en [1], se podría especificar el parámetro  $\beta$  de la distribución geométrica que aplica para indicar el grado de aleatoriedad al asignar el orden de los tratamientos.

**Tabla Tratamiento**

La tabla identifica todos los posibles tratamientos que pueden aplicarse al paciente: cirugía, quimioterapia, radioembolización, radioterapia de haz externo, terapia dirigida, radioinmunoterapia, trasplante de células madre o supervisión. Cada uno de estos tipos se definirá en una tabla con una serie de campos que indiquen la configuración de cada tratamiento. En el caso de la cirugía se debe indicar el porcentaje de resección, en quimioterapia la sensibilidad de las células al fármaco y en radioterapia la dosis administrada al tumor durante la sesión. También debe indicarse el número de sesiones, la duración estimada de cada sesión y el tiempo mínimo que debe transcurrir entre ellas.

**Tabla Paciente-Tratamiento**

Inicialmente, cada paciente tiene asignado una serie de tratamientos que se relacionan con una tabla de tipo 1-varios. Esta asignación inicial aplica un método determinista y establece una serie de reglas distintas según el tipo de tratamiento. Por ejemplo, se puede establecer que el tratamiento de radioterapia puede consistir en tres sesiones aplicando distinta dosis, intercalando sesiones de descanso de una duración mínima. Esta tabla indica una planificación de los tratamientos que necesita el paciente, pero será la tabla eventos la que indique cuándo se van a aplicar.

**Tabla Eventos**

Los eventos que pueden generarse en el sistema tienen un campo con el instante de generación y otro campo que indica el tipo de evento. Los tipos que pueden ir generándose pueden referirse a la entrada y salida de pacientes, al crecimiento del tumor de un paciente, la formación de metástasis o el tratamiento aplicado. Cada tipo tendrá unas consecuencias distintas y prácticamente se modifican registros de todas las tablas del sistema. El evento más complicado de gestionar es el de aplicación de tratamientos: dicha aplicación debe realizarse en base al algoritmo MetodoAsignación que se esté evaluando y debe comprobarse previamente si hay recursos disponibles y comprobar que se cumplan las reglas temporales establecidas en el propio tratamiento.

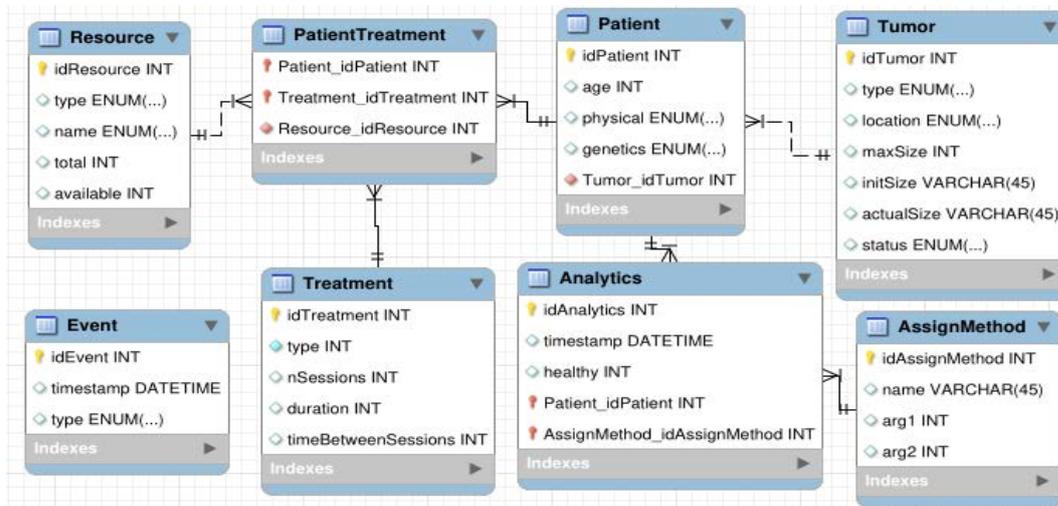
**Tabla Analítica**

Esta es la tabla que va registrando periódicamente el estado de los pacientes según el algoritmo de asignación que se esté usando para poder evaluar al finalizar la simulación que algoritmo de asignación obtiene mejores resultados. Esta tabla almacena el momento en el que se produce el análisis, el identificador del paciente, un valor calculado indicativo de la salud del paciente y que tiene en cuenta el estado del tumor principal y de las metástasis, y el método de asignación aplicado.

**IMPLEMENTACIÓN**

Toda la información que el sistema debe mantener y que se ha diseñado previamente, dispone de una elevada cohesión y, es por ello, por lo que tiene sentido que la base de datos sea relacional. Además de esto, otras razones por las que una base de datos relacional es más apropiada en este sistema son la estandarización, integridad, escalabilidad y la consistencia de los datos. MySQL es el sistema elegido por tratarse de una base SQL de código abierto, multiplataforma, que soporta una amplia gama de tipos de datos y que dispone de varias herramientas gráficas para interactuar con el sistema independiente de la simulación. Además del soporte de en diferentes lenguajes de programación, que nos permitiría hacer la aplicación que representa la evolución del sistema por ejemplo en lenguaje Java y la aplicación que explote la información e imprima las gráficas estadísticas en lenguaje Python. La Figura 1 representa el modelo

EER (*Enhanced Entity-Relationship*) con la estructura de tablas, los campos que contiene cada una y las relaciones establecidas.



**Figura 1.** Distribución de las tablas en la base de datos implementada en MySQL

La tabla *evento* no se encuentra relacionada con ninguna otra. Cuando un evento ocurre en el sistema va a ocasionar una modificación en la mayoría, pero estas relaciones no son evidentes. Puede que generen el alta de un paciente, el incremento del tumor principal o la aplicación de un tratamiento.

## CONCLUSIONES

El diseño e implementación de la base de datos de este sistema es el primer paso necesario para llevar a cabo el proyecto de implementación de una aplicación que permita evaluar ante una situación dada en una clínica hospitalaria, cuál es la asignación de recursos más óptima. Esta base de datos que en todo momento almacena la simulación llevada a cabo de la evolución oncológica de distintos pacientes va a permitir realizar una explotación de los datos muy completa y analizar qué asignaciones ocasionan unos mejores resultados.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto concedido y financiado por la Universitat Politècnica de Valencia, dentro del programa de Ayudas para Primeros Proyectos de Investigación (PAID-06-22). El título del proyecto es *Herramienta Software de Ayuda para la Asignación Eficaz de Recursos Médicos en Tratamientos de Cáncer*.

## REFERENCIAS

- [1] Martins L., Castaneda J., Juan A. Tondar A., Calvet L.(2021), "Supporting Efficient Assignment of Medical Resources In Cancer Treatments with Simulation-Optimization", Proceedings of the 2021 Winter Simulation Conference (2021) p.1-12.
- [2] Valastyan S., Weinberg R.A. (2011) "Tumor Metastasis : molecular insights and evolving paradigms". Cell 147. P. 275-292.
- [3] Bethge A., Shumacher U. and Wedemann G. (2015) "Simulation of metastatic progression using a computer model including chemotherapy and radiation therapy". Journal of Biomedical Informatics 57. p 74-87.

## Mejora de la hidrofiliidad de tejidos de poliéster y poliamida mediante proteasas

Belda-Anaya, Raquel<sup>(1)</sup>, Martínez-Raudales, Heidy Yasmin<sup>(2)</sup>, El-Bazali, Salima<sup>(3)</sup>, Montava Seguí, Ignacio<sup>(4)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universidad Politécnica de València-Campus de Alcoy (Spain), [rabelan@txp.upv.es](mailto:rabelan@txp.upv.es)

(2) Master de Ingeniería Textil, Universidad Politécnica de València-Campus de Alcoy (Spain), [hjmarrau@upv.edu.es](mailto:hjmarrau@upv.edu.es)

(3) Master de Ingeniería Textil, Universidad Politécnica de València-Campus de Alcoy (Spain), [salima.el-bazali@student.junia.com](mailto:salima.el-bazali@student.junia.com)

(4) Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universidad Politécnica de València-Campus de Alcoy (Spain), [imontava@txp.upv.es](mailto:imontava@txp.upv.es)

### RESUMEN

Hay fibras que por su composición o por tratamientos recibidos, presentan una baja humectabilidad y absorbencia, afectando negativamente a procesos de acabado que se llevan a cabo sobre los tejidos. Como alternativa a los métodos tradicionales utilizados para aumentar la hidrofiliidad se propone la utilización de enzimas como posible herramienta eficaz y amigable con el medioambiente.

Con este trabajo se ha pretendido determinar la acción hidrolítica de una proteasa sobre diferentes tipos de fibra, con la consecuente modificación superficial. Para determinar la acción enzimática se han caracterizado las muestras mediante ensayo de tracción, prueba de transpirabilidad y su respuesta a la tinte. Además, de valorar el grado de deterioro o degradación superficial de las fibras mediante microscopio electrónico de barrido.

La modificación de la superficie de la fibra por tratamiento enzimático con proteasas se observó en la mayoría de las muestras. Sin embargo, el comportamiento del tejido de poliéster blanqueado fue contrario a lo esperado, actuando el tratamiento enzimático como un regenerador o protector de la superficie de la fibra como se muestra en los resultados obtenidos en cada ensayo.

**Palabras clave:** Proteasa, hidrofiliidad, degradación, poliamida, poliéster, modificación superficial.

### INTRODUCCIÓN

Un incremento en la concienciación por los problemas medioambientales relacionadas con el uso de productos químicos, consumo excesivo de agua y elevado vertido de aguas residuales durante el procesamiento de los textiles, ha potenciado la búsqueda de métodos alternativos en el acabado de materiales textiles [1].

Las proteasas son enzimas hidrolasas que catalizan la proteólisis de enlaces peptídicos e hidrólisis selectiva de ésteres carboxílicos y ésteres aminados. La enzima Savinase 16 L es una serina endopeptidasa (EC 3.4.21.62) que actúa en condiciones alcalinas [2]. Las proteasas se utilizan en tejidos de lana para mejorar el grado de blancura, disminuir el grado de enfieltramiento [3], mejorar la suavidad y disminuir la formación pilling [4], aumentar la velocidad y optimizar el resultado de la tinte de tejidos de esta fibra [5]. En las fibras sintéticas, se ha estudiado la modificación de superficie de los

tejidos de Poliamida 6.6 mejorando la hidrofiliidad, aumentando la capacidad de teñido y propiedades de solidez e incrementando la permeabilidad al aire [6]. También, se han realizado estudios sobre el poliéster, mejorando la recuperación de la humedad de los tejidos de poliéster [7].

## OBJETIVOS

Determinar y evaluar el efecto de una proteasa sobre la superficie y la hidrofiliidad de diferentes tipos de tejidos de poliéster y poliamida y, en consecuencia, sobre una optimización del proceso de tintura, modificación de las propiedades mecánicas y una mayor transpirabilidad del tejido.

Para ello, se ha iniciado el estudio determinando las condiciones óptimas de actividad de la endoproteasa Savinase 16 L, aplicándola sobre un sustrato como la lana, sobre el cuál que tiene un efecto visible de suavizado de las escamas y/o la degradación de la propia fibra, perceptibles al microscopio óptico.

## METODOLOGÍA

El estudio se realizó sobre cuatro tejidos diferentes: poliamida 78 g/m<sup>2</sup> (PA), poliamida Raschel 46,6 g/m<sup>2</sup> (PA Raschel), poliéster blanqueado 200 g/m<sup>2</sup> (PES blanqueado) y poliéster 75% reciclado 89,5 g/m<sup>2</sup> (PES reciclado). Tamaño de las probetas de las muestras 14x3 cm. Para el tratamiento enzimático, una solución tampón pH9 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> /NaHCO<sub>3</sub> 0,01 M y Savinase 16L (16 KNPU-5 g, Lote L00752202).

El estudio se realizó sobre cuatro tejidos diferentes: poliamida 78 g/m<sup>2</sup> (PA), poliamida Raschel 46,6 g/m<sup>2</sup> (PA Raschel), poliéster blanqueado 200 g/m<sup>2</sup> (PES blanqueado) y poliéster 75% reciclado 89,5 g/m<sup>2</sup> (PES reciclado). Tamaño de las probetas de las muestras 14x3 cm. Para el tratamiento enzimático, se utilizó una solución tampón pH9 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> /NaHCO<sub>3</sub> 0,01 M y Savinase 16L (16 KNPU-5 g, Lote L00752202).

Tras un pretratamiento de todas las muestras con detergente humectante no-iónico (Proeswet HCl), en un baño de ultrasonidos a 60 °C durante 20 minutos y secado en estufa a 80 °C durante 10 minutos, se sometieron 6 muestras de cada tejido a un tratamiento enzimático, dejando las 6 muestras restantes como control.

Con un estudio inicial con fibra de lana, se establecen las condiciones óptimas de acción de la enzima Savinase 16 L: concentración del 10% sobre cantidad de baño, temperatura de 60 °C, tiempo de actividad de 24 horas sin agitación y un pH fijo de 9. Las muestras son sometidas a este tratamiento y trascurridas las 24 horas, se escurren y se inactiva la enzima con ácido acético 0,5 g/L durante 20 minutos. Se lavan las muestras y se secan al aire. Para la tintura del PES se utiliza el equipo Testherm, 1% Cl. Disperse Blue 58, 1 mL/L ácido fórmico y 1 g/L (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, relación de baño 1/30, bajo condiciones de 100 °C durante 50 minutos. Para las muestras PA, la tintura se realiza durante 1 hora con vasos tintoreros en placa calefactora, relación de baño 1/30, 1% Cl. Acid Blue 15, con adición de 1 g/L Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a los 20 minutos de ebullición y agitación del baño. Se llevó a cabo la medición de las coordenadas cromáticas (L\*, a\*, b\*): utilizando el espectrómetro de reflexión Konica Minolta, observador 10°, iluminante D65 y componente especular incluido. Como estándar se utiliza las muestras control.

En el ensayo de resistencia a la tracción se utilizó el dinamómetro ZwickRoell Z005, determinando la fuerza de rotura, la tenacidad y el % de elongación, conforme a la norma

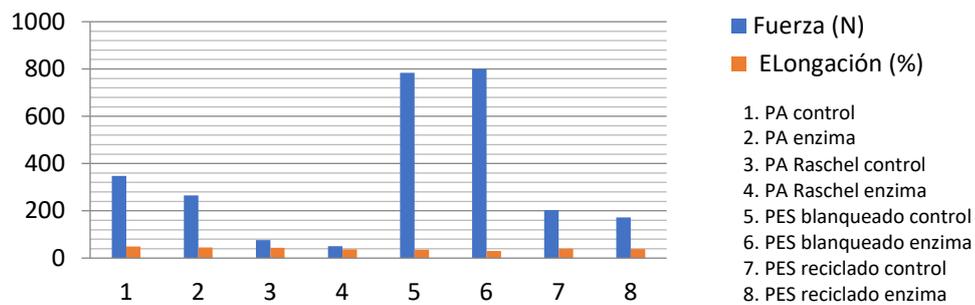
DIN EN 13934-1 “Ensayos de tracción para tejidos textiles” con la modificación del parámetro de la distancia entre mordazas a 80 mm debido al tamaño de las probetas.

La resistencia a la transpirabilidad consiste en la determinación de la cantidad de flujo de aire que pasa verticalmente a través del área de tejido en una unidad de tiempo, basado en el método descrito en el Anexo C de la Norma 14683:2019 “Mascarillas quirúrgicas. Requisitos y métodos de ensayo”.

Las muestras se observaron con un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo, éstas se recubrieron con platino y se observó la morfología con FESEM Zeiss Ultra 55 a x500, x1000, x2500 y x5000 aumentos y un voltaje de aceleración de 2 keV.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

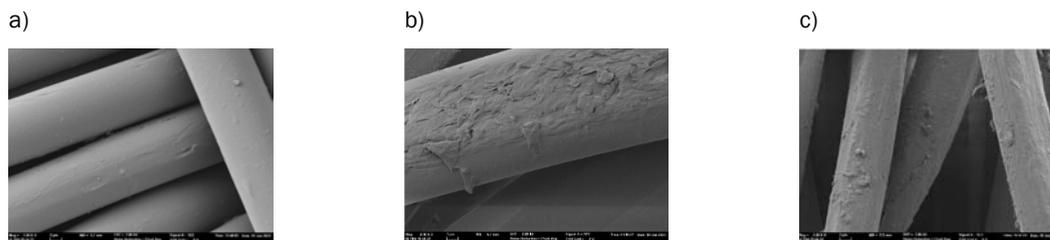
El grado de hidrólisis por el tratamiento enzimático puede determinarse por la pérdida de resistencia, alargamiento a la rotura y tenacidad del tejido. En la figura 1, puede observarse una disminución de la resistencia, alargamiento a la rotura y tenacidad los tejidos, siendo más acusado en el tratamiento a largo plazo; excepto para el PES blanqueado que registra un aumento de la resistencia y tenacidad.



**Figura 1.** Gráfica con los resultados de resistencia a la tracción de las diferentes muestras

Respecto a la determinación del comportamiento a la tintura, las coordenadas cromáticas medidas indican que las muestras de PA con tratamiento enzimático presentan una tintura más intensa, pero menos luminosa que la muestra control; mientras que el PES blanqueado con tratamiento presenta una tintura menos intensa y con menor luminosidad.

Los ensayos de transpirabilidad, indicaron que las muestras de PES reciclado y las de PA tratadas con la enzima, presentan una diferencia de presión entre ambos lados del tejido más baja que las muestras control, consiguiendo una menor capacidad de resistencia al aire. Por el contrario, el tejido de fibras de PES blanqueado presenta valores de diferencia de presión más alta tras el tratamiento enzimático.



**Figura 2.** Imágenes de FESEM a 2500 aumentos para las muestras: a) PA enzima b) PA Raschel enzima c) PES blanqueado enzima donde se observa la modificación de la superficie de las fibras

La observación de la superficie de las fibras al microscopio electrónico de barrido (FESEM) revelaron que las muestras no tratadas, generalmente, mostraban una superficie sin surcos, Tras el tratamiento con enzimas, se observan superficies grabadas, talladas y rugosas, lo que indica que la modificación de la superficie de la fibra se produjo durante los tratamientos. Se diferencia la muestra de PES blanqueado, no sufriendo ningún deterioro, sin embargo, se observa una mayor cantidad de deposiciones en la fibra tratada con enzimas.

## CONCLUSIONES

El tratamiento enzimático provocó una modificación de la superficie de las fibras que afectó al comportamiento de los tejidos a los diferentes ensayos, Los resultados del ensayo de tracción mostraron que el tratamiento enzimático disminuye ligeramente la resistencia a la rotura, por lo tanto, su tenacidad. Sin embargo, efecto contrario se observó en la muestra de PES blanqueado donde los resultados de tracción se vieron incrementados con el tratamiento enzimático. Estos resultados, coinciden con los obtenidos en el resto de las pruebas, como son tintura/coordenadas cromáticas y transpirabilidad y el FESEM. Las deposiciones observadas en el PES blanqueado tratadas enzimáticamente, probablemente sean las responsables de los resultados contradictorios obtenidos respecto al resto de las muestras, que sí que han presentado surcos o grietas en las superficies de las fibras como consecuencia de la acción enzimática.

Es por ello que, el tratamiento enzimático, como posible alternativa a la utilización de productos químicos para la mejora de la hidrofiliidad, se ha evidenciado con el presente trabajo, excepto con el tejido de PES blanqueado. Ello es debido probablemente, a que el tejido presentaba algún acabado que el pretratamiento con humectante no ha sido capaz de eliminar y ha provocado que la enzima no pudiese acceder a la fibra o que la enzima ayudara a la formación de algún compuesto que protegiese la fibra, no viéndose alterada y no modificando su comportamiento ante los diferentes ensayos.

## REFERENCIAS

- [1] Araujo, R., Casal, M., & Cavaco-Paulo, A. (2008). Application of enzymes for textile fibres processing. *Biocatalysis and Biotransformation*, 26(5), 332-349.
- [2] Novozymes Biopharma DK A/S. Ficha técnica Savinase 16L
- [3] Juan, A. R., Fuentes, R. P., & Joaquín, I. A. (2005). Mejora del grado de blanco de tejidos de lana tratados con proteasas. *Boletín Intexter del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial*.
- [4] Mojsov, K. (2017). Enzymatic treatment of wool fabrics-opportunity of the improvement on some physical and chemical properties of the fabrics. *The Journal of the Textile Institute*, 108(7), 1136-1143.
- [5] Cegarra Sánchez, J., Pepió Viñals, M., Naik Kardile, A., & Riva Juan, A. (2004). Modelización de la acción de una proteasa en las características físicas de un tejido de lana. Cegarra, J.[et al.]. " Modelización de la acción de una proteasa en las características físicas de un tejido de lana". *Boletín Intexter*, gener 2004, núm. 125, p. 9-18.
- [6] Parvinezadeh, M. (2009). A new approach to improve dyeability of nylon 6 fibre using a subtilisin enzyme. *Coloration Technology*, 125(4), 228-233.
- [7] Kim, H. R., & Song, W. S. (2010). Optimization of papain treatment for improving the hydrophilicity of polyester fabrics. *Fibers and Polymers*, 11, 67-71.

## INFLUENCIA DE LA HUMEDAD DE LOS SUSTRATOS COLECTORES EN EL ELECTROHILADO

Mínguez-García, David<sup>(1)</sup>, Montava, Ignacio<sup>(1)</sup>, Gisbert-Payá<sup>(1)</sup>, Jaime, Díaz-García, Pablo<sup>(1)</sup>.

(1) *Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València-Campus de Alcoi (Spain), [damingar@epsa.upv.es](mailto:damingar@epsa.upv.es)*

### RESUMEN

El electrospinning o electrohilatura es una tecnología capaz de producir fibras poliméricas de pequeño diámetro, comprendido en un rango que varía desde los micrómetros hasta los nanómetros con una elevada relación volumen-área superficial de una forma relativamente simple y poco costosa. La electrohilatura engloba tres grupos de parámetros que afectan a las nanofibras resultantes, son: parámetros de la solución, parámetros del proceso y parámetros ambientales.

En cuanto a parámetros ambientales, la temperatura y la humedad relativa del ambiente son las variables generalmente estudiadas, sin embargo, en esta investigación se evalúa la influencia de la humedad del tejido colector sobre la deposición de nanofibras en este. Se electrohila una disolución de alcohol de polivinilo (PVA) y colorante negro. Para evaluar la influencia de la humedad presente en el tejido colector, se utiliza un tejido 100% poliéster (PES), el mismo tejido humedecido y un papel encerado.

Los resultados muestran la aparición de poros superficiales en el velo nanofibroso creado sobre el tejido de PES, mientras que en el papel encerado aparece un velo completamente uniforme, en ambos casos se producen nanofibras homogéneas. En el caso del tejido PES humedecido, las imágenes SEM muestran la inexistencia de nanofibras.

**Palabras clave:** nanofibra, poro, parámetro, PVA, tejido.

### INTRODUCCIÓN

La nanotecnología ha despertado un gran interés en el sector textil debido a las numerosas características que se pueden agregar a los textiles convencionales. En el caso de la hilatura química, destaca la tecnología de la electrohilatura o electrospinning, una técnica capaz de producir velos de fibras con un diámetro nanométrico, con una alta relación área superficial-volumen y una elevada porosidad [1].

El equipo utilizado es simple, principalmente consta de dos electrodos, el electrodo extrusor de la solución viscoelástica y el electrodo colector, una superficie colectora de las nanofibras conectada a tierra. También requiere de una fuente de alimentación de alto voltaje.

Pese a su sencillez tangible, el proceso de electrohilado se encuentra controlado por multitud de parámetros que son capaces de inhibir la producción de nanofibras o modificar los resultados finales. Estos parámetros se pueden clasificar en: parámetros de la solución viscoelástica (concentración del polímero, peso molecular, conductividad, viscosidad, volatilidad del solvente, etc), parámetros del proceso de electrohilado (voltaje aplicado, caudal de alimentación, distancia entre electrodos, etc) y los parámetros ambientales (temperatura, humedad relativa y presión de aire) [2].

El proceso de electrohilado se lleva a cabo cuando una gota de la solución, con forma esférica, se sitúa en el capilar extrusor del equipo y es cargada eléctricamente. Consecuentemente, al aumentar las fuerzas del campo electrostático creado entre ambos electrodos, las fuerzas de Coulomb, la gota se estira hasta presentar una forma cónica conocida como cono de Taylor. Cuando las fuerzas de Coulomb superan a las fuerzas de la tensión superficial que retienen la solución en la punta del capilar extrusor se crea un chorro helicoidal direccionado hacia el electrodo colector, depositándose sobre este las nanofibras solidificadas [3].

Es la distancia espacio-tiempo entre los electrodos extrusor y colector en la cual el solvente utilizado en la solución debe evaporarse para obtener un velo nanofibroso óptimo. Investigadores han estudiado la influencia de la humedad relativa en el ambiente donde se realiza el electrohilado [4], sin embargo, en este estudio se quiere evidenciar si existe una influencia de la humedad presente en la superficie sobre la cual se depositan las nanofibras

## **OBJETIVOS**

El objetivo del presente estudio es determinar si existe una influencia de la humedad absorbida por el sustrato colector a la hora de electrohilar nanofibras de alcohol de polivinilo sobre este.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El polímero empleado para producir el velo de nanofibras es alcohol de polivinilo (PVA) Mw 61.000 g/mol suministrado por Sigma-Aldrich. Como sustratos colectores se utilizan dos tejidos de calada 100% poliéster (PES), uno seco y otro húmedo, y un papel celulósico de la marca Bosque Verde. El equipo de electrohilado utilizado es un Nanospider modelo Spinbox by Bioinicia. El elemento colector utilizado es una placa plana vertical de acero inoxidable. El capilar extrusor empleado tiene un calibre 22.

Se producen velos de nanofibras mediante una disolución de PVA al 9% p/v y colorante Acid Black 194 al 5 g/L disueltos en agua destilada a 80 °C, utilizando agitación electromagnética durante 2 horas. Para el electrohilado, se utiliza un caudal de alimentación de 0,5 mL/h, un voltaje aplicado de 10 kV, una distancia entre electrodos de 15 cm y un tiempo de electrohilado de 90 min. El proceso se ha llevado a cabo a una temperatura ambiente en torno a los 22,5 - 24 °C y una humedad relativa del 55 - 57%, la variabilidad en los parámetros ambientales es debido a la imposibilidad de ser controlados por el equipo utilizado y a la climatización del laboratorio.

Para humedecer el tejido de poliéster se hizo uso de un spray pulverizador.

La caracterización de los tejidos se llevó a cabo a partir de la microscopía electrónica de barrido (SEM) para observar la superficie de los mismos, se empleó el microscopio HRFSEM ZEISS GeminiSEM 500.

## **RESULTADOS**

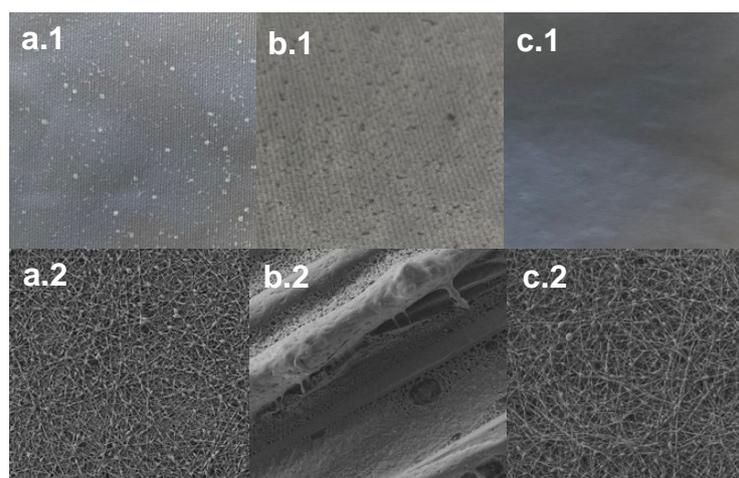
Para el electrohilado de las distintas muestras se utiliza la misma disolución de PVA, por lo cual, se puede descartar una influencia de los parámetros de la solución

(concentración de polímero, peso molecular, conductividad, tensión superficial, volatilidad del solvente, etc) en los resultados finales.

De igual forma, las variables del proceso (caudal de alimentación, voltaje aplicado, distancia entre electrodos y tiempo de electrohilado) se mantienen constantes, por lo tanto, es posible descartar su influencia. Respecto a los parámetros ambientales durante el proceso, la pequeña variabilidad en las medidas de temperatura y humedad relativa también se descarta como un factor influyente.

Para estudiar la influencia de la humedad presente en el sustrato colector de nanofibras se hace uso de tres superficies diferentes. Por una parte, se utilizan un tejido de calada de poliéster y un papel celulósico, la humedad presente en ellos debe ser la presente en el laboratorio. Por otro lado, se utiliza el tejido de PES húmedo, se duplica su peso pulverizando agua.

Aunque los parámetros influyentes en el proceso de electrohilado se mantuvieron constantes y a simple vista no se observa variabilidad en la estabilidad del cono de Taylor del que se genera el jet de nanofibras. La Figura 1 muestra imágenes del velo de nanofibras, aparecen notables diferencias en los distintos resultados electrohilados. En primer lugar, al electrohilar sobre el tejido de PES se crea el velo de nanofibras en su superficie, sin embargo, aparecen multitud de poros en toda la muestra (Figura 1, a.1), estos presentan un diámetro poco homogéneo y son visibles al ojo humano. Cuando se obtiene una imagen con mayor número de aumentos utilizando la microscopía SEM se es capaz de observar la deposición de nanofibras con multitud de abultamientos en su sección longitudinal (Figura 1, a.2). En cambio, cuando se electrohila sobre el mismo tejido PES, pero esta vez completamente húmedo, se sustituye la porosidad mostrada en el tejido seco por pequeños abultamientos que presentan una tonalidad de color más oscura al resto de la deposición de nanofibras (Figura 1, b.1). Las imágenes SEM realizadas sobre esta muestra evidencian la inexistencia de nanofibras en la superficie, en su lugar se ha realizado una especie de recubrimiento polimérico entre las fibras del tejido (Figura 1, b.2). Finalmente, cuando se realiza el proceso de electrohilado sobre el colector de papel celulósico no aparece ninguna característica destacable, se obtiene un velo de nanofibras completamente homogéneo (Figura 1, c.1), lo cual se puede corroborar con las nanofibras mostradas en la Figura 1, c.2.



**Figura 1.** Velos de nanofibras formados con diferentes sustratos y niveles de humedad: a.1) Deposición de nanofibras sobre tejido PES seco; a.2) imágenes SEM de a.1; b.1) deposición sobre tejido PES húmedo; b.2) imágenes SEM de b.1; c.1) deposición sobre papel celulósico; c.2) imágenes SEM de c.1.

Para explicar la notable diferencia entre las dos superficies que no se encuentran húmedas (Figura 1, a.1 y c.1) se determina de forma cualitativa la higroscopicidad de cada una de ellas. Para ello se deja caer una gota de solución directamente sobre ambas superficies. En la Figura 2 se observa como el tejido de poliéster absorbe rápidamente la solución de PVA (Figura 2, izqda.), sin embargo, sobre el papel celulósico la gota se mantiene con forma semiesférica sobre la superficie debido al recubrimiento de silicona que posee (Figura 2, dcha.).



**Figura 2.** Gota de solución sobre tejido PES (izqda.). Gota de solución sobre papel celulósico (dcha.).

## CONCLUSIONES

La técnica del electrohilado se encuentra controlada por multitud de parámetros que afectan en los resultados nanofibrosos. En este estudio se ha demostrado la existente influencia de la humedad presente en las superficies colectoras respecto a la deposición de nanofibras sobre ellas. Los resultados han concluido que al aumentar la humedad del colector aumentan los defectos en él; cuando el colector se encuentra completamente húmedo las nanofibras no son capaces de solidificarse de forma individual, por lo que se unifican y crean una especie de recubrimiento polimérico. Cuando el colector posee capacidad higroscópica y existe cierta humedad en el ambiente, se crean multitud de poros en el velo nanofibroso. En cambio, cuando la superficie es completamente hidrófoba se genera una deposición homogénea sin apenas desperfectos.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren mostrar su agradecimiento por el apoyo al patrocinador. La investigación realizada ha sido financiada por el INSTITUTO VALENCIANO DE COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL (IVACE), con la línea nominativa a favor de la Universitat Politècnica de València, aprobada por la Ley de Presupuestos de la Generalitat Valenciana del año 2023.

## REFERENCIAS

- [1] Khajavi, R., & Abbasipour, M. J. S. I. (2012). Electrospinning as a versatile method for fabricating coreshell, hollow and porous nanofibers. *Scientia Iranica*, 19(6), 2029-2034.
- [2] Mínguez-García, D., Capablanca, L., Montava-Seguí, I., & Díaz-García, P. (2022). Nanofibras sobre sustratos textiles. *Revista de Química e Industria Textil*, (240), 24-29.
- [3] Khajavi, R., & Abbasipour, M. J. S. I. (2012). Electrospinning as a versatile method for fabricating coreshell, hollow and porous nanofibers. *Scientia Iranica*, 19(6), 2029-2034.
- [4] Mailley, D., Hébraud, A., & Schlatter, G. (2021). A review on the impact of humidity during electrospinning: From the nanofiber structure engineering to the applications. *Macromolecular Materials and Engineering*, 306(7), 2100115.

## **Evolución de la caracterización de las propiedades tribológicas de polímeros técnicos**

**García Carrasco, Sergio<sup>(1)</sup>, Peydró Rasero, Miguel Ángel<sup>(2)</sup>, Eixerés Tomás, Beatriz<sup>(3)</sup>, Montava-Jordà, Sergi<sup>(4)</sup>, Crespo Amoros, Jose Enrique<sup>(5)</sup>**

(1) *Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, sergarc9@psa.upv.es*

(2) *Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, mpeydr@upv.es*

(3) *Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, beaeito@dimmm.upv.es*

(4) *Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, sermonjo@mcm.upv.es*

(5) *Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, jocreamr@dimmm.upv.es*

### **RESUMEN**

En la actual década, los materiales poliméricos han sufrido grandes avances que los traen cada vez más a un mayor número de aplicaciones, y cada vez más exigentes. Una parte muy importante de estas aplicaciones implica contacto, fricción, desgaste, lubricación, etc, por lo que para entender estos fenómenos y poder realizar diseños satisfactorios es necesario el estudio tribológico de estos materiales.

Esto ha hecho necesaria la caracterización tribológica de los polímeros técnicos, que empieza a mitades del siglo XX. Este artículo pretende revisar, de manera cronológica y justificada, los avances a los que se ha llegado desde entonces.

**Palabras clave:** Tribología, polímeros técnicos, caracterización.

### **INTRODUCCIÓN**

La tribología es el área del conocimiento que estudia el contacto entre dos superficies entre las cuales existe desplazamiento relativo, abarcando fenómenos como el desgaste, la fricción, la lubricación o incluso efectos químicos o termodinámicos.

La caracterización tribológica de polímeros es un tema de gran importancia en la actualidad, pues estos, por su ligereza, buenas propiedades tribológicas en ausencia de lubricación, facilidad de procesado, etc, son cada vez más empleados en sistemas mecánicos, no solo para la transmisión de movimiento, sino también de potencia.

No obstante, la elevada dependencia de ciertos parámetros debido a la sensibilidad de los polímeros a la temperatura, efectos químicos, y su baja rigidez comparada con los metales, ha hecho necesaria una caracterización exhaustiva de estos, comenzando a mediados del siglo XX.

### **OBJETIVOS**

El objetivo principal de este artículo es estudiar la cronología de la evolución de la caracterización tribológica de polímeros técnicos, justificando esta a través de las diferencias entre los materiales poliméricos y los metales tradicionalmente empleados.

## RESULTADOS

La tribología en polímeros es un área del conocimiento relativamente reciente, apareciendo a mediados del siglo XX. Ya en 1952, se descubre que al contrario que en los metales, la fuerza de rozamiento no es directamente proporcional a la carga, empleando instrumental de diversa índole, como:

- Tribómetros, tanto estáticos como dinámicos.
- Dispositivos para medir el área de contacto.

El tribómetro es el principal instrumento empleado en la caracterización tribológica. Este dispositivo consta, básicamente, de un par tribológico instrumentado. Es decir, se forma un par contacto entre dos materiales con desplazamiento relativo entre ellos, controlando parámetros como la velocidad, el ambiente o la temperatura, y registrando datos como la fuerza de rozamiento, el desgaste, etc. A parte de los datos obtenidos en el transcurso del ensayo, también se puede extraer información valiosa de las probetas desgastadas, como la pérdida de masa o el estudio de la geometría de la pista de desgaste.

En la década de los años 60 se empieza a ver la popularización del tribómetro por excelencia, el tribómetro pin-on-disk, en materiales poliméricos, en trabajos como el de Vinogradov en 1967 [1], que emula un par tribológico de deslizamiento puro entre un disco polimérico y una superficie esférica metálica, controlando la velocidad de deslizamiento y la carga aplicada dentro de un ambiente controlado. Este dispositivo, además, está instrumentado para medir directamente la fuerza de rozamiento y la temperatura.

Fig. 2. Schematic of Tr-7 tribometer.

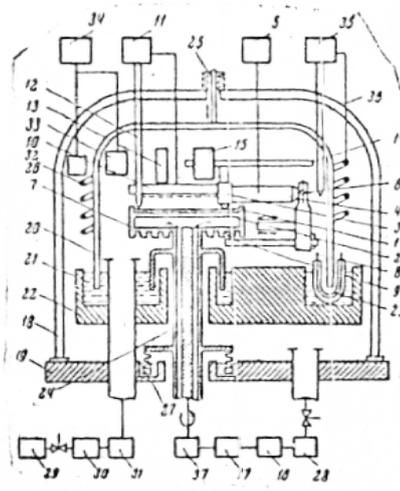


Figura 1. Diagrama del tribómetro TR-7 de Korepova y Mustafayev.

La década de los años 70 ve grandes avances en las técnicas de microscopía y análisis químico, que permiten analizar con más detalle los resultados de los ensayos tribológicos. Principalmente, la microscopía electrónica permite estudiar con más detalle las superficies desgastadas, lo que lleva al desarrollo de una serie de teorías acerca del desgaste de los polímeros.

Principalmente, se estudian los mecanismos de desgaste de los materiales poliméricos, relacionando estos con las propiedades mecánicas[2], y con fenómenos como la formación de películas, adhesión, fatiga, etc. También se desarrollan modelos de

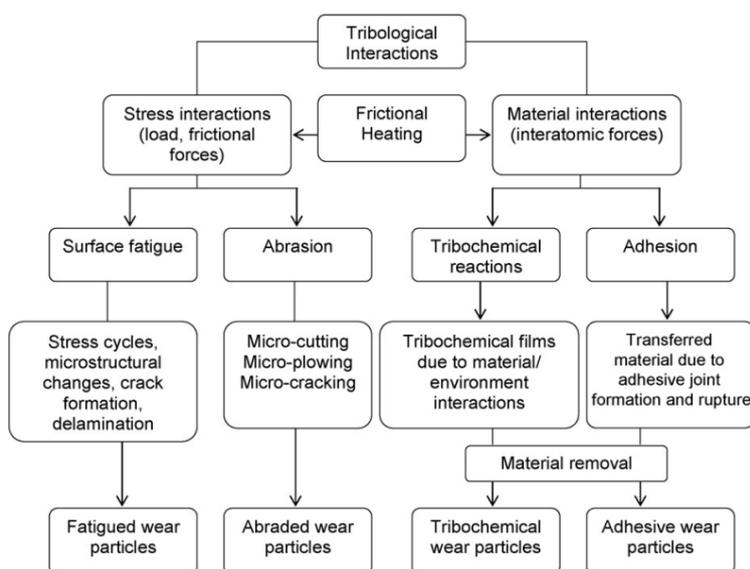
desgaste ampliamente utilizados, como el de Rhee [3], que es ampliamente citado incluso a día de hoy.

En la década de 1980 se llevan a cabo tareas de investigación mediante las técnicas ya existentes, ampliando el conocimiento existente hasta el momento [4]. Esta década, además, se caracteriza por grandes avances en el ámbito de los materiales compuestos de matriz polimérica, que también son foco de estos trabajos [5].

La década de 1990 observa un cambio radical en cuanto a caracterización tribológica; a parte de los tribómetros ya existentes, aparece el ensayo de rayado a escala micro y nanométrica [6], una nueva técnica alternativa a los ensayos convencionales que permite caracterizar la resistencia de polímeros y recubrimientos poliméricos.

Desde el año 2000 a la actualidad, se han continuado aplicando las técnicas desarrolladas hasta el momento, empleándose tanto tribómetros como rayadores y analizándose las muestras obtenidas mediante microscopía, para continuar avanzando en el entendimiento de la tribología en polímeros [7].

Los mecanismos de desgaste se han logrado identificar completamente a partir de estos estudios, achacándolos a cuatro fenómenos básicos, como se observa en la gráfica siguiente [8].



**Figura 2.** Diagrama de los mecanismos básicos de desgaste aceptados hasta la actualidad.

Uno de los objetivos actuales es la aplicabilidad de los datos obtenidos en ensayos a modelos predictivos, que permitan diseñar elementos poliméricos con mayor fiabilidad.

No obstante, los datos obtenidos mediante ensayos típicos no siempre son aplicables a casos reales. Por ejemplo, para engranajes poliméricos se ha demostrado que el comportamiento real no se ajusta al esperado teóricamente a partir de los datos de ensayos de deslizamiento (pin-on-disk) y rodadura, por lo que se necesita desarrollar nuevos métodos de ensayo específicos [9].

Cabe destacar el trabajo que desarrolla la empresa alemana Anton-Paar, fabricante de tribómetros entre otros dispositivos, que está buscando nuevas técnicas de caracterización tribológica. Por ejemplo, este mismo año se encuentra investigando acerca de la tribología oscilatoria; se estudia el cambio de fricción estática a dinámica [10].

## CONCLUSIONES

Tal y como se ha podido observar a lo largo del artículo, la tribología aplicada a los polímeros técnicos es un campo relativamente novedoso, con un avance rápido aunque a lo largo de poco menos de un siglo. La caracterización total de los modos de desgaste de los polímeros técnicos, de hecho, se ha alcanzado hace poco más de dos décadas.

A pesar de que la herramienta fundamental, el tribómetro, no ha evolucionado de manera sustancial desde los primeros desarrollos, las técnicas de medida sobre las probetas generadas sí han avanzado, permitiendo caracterizar el comportamiento incluso de materiales compuestos y materiales con nanocargas.

A parte de los tribómetros clásicos, además, han aparecido dos tendencias:

- Los indentadores y nanoindentadores permiten realizar ensayos de rayado, que abren nuevas posibilidades de caracterización, permitiendo estudiar el comportamiento de los polímeros técnicos de una manera aún más detallada, y en condiciones incluso cuasiestáticas, por lo que se puede tener un mejor entendimiento del comportamiento tribológico de los polímeros a escala molecular.
- La elevada complejidad de los pares tribológicos también dificulta la aplicabilidad de los resultados obtenidos en los tribómetros convencionales a casos reales, pues las condiciones tienen un gran impacto, pudiendo llegar a alterar no sólo la magnitud del desgaste, si no también el modo de desgaste que sufren los polímeros, por lo que se han desarrollado tribómetros específicos para aplicaciones como engranajes poliméricos.

## REFERENCIAS

- [1] Vinogradov, G. V., Yu, G. Y. (1967). "Friction and dynamic mechanical characteristics of crystalline polymers during melting". *British Journal of Applied Physics*, 18, 8, 1141.
- [2] Briscoe, B. J., Tabor, D. (1978). "Friction and wear of polymers: The role of mechanical properties". *British Polymer Journal*, 10, 1, 74-78.
- [3] Rhee, S. K. (1970). "Wear equation for polymers sliding against metal surfaces". *Wear*, 16, 6, 431-445.
- [4] Briscoe, B. (1981). "Wear of polymers: an essay on fundamental aspects". *Tribology International*, 14, 4, 231-243.
- [5] Santner, E., Czichos, H. (1989). "Tribology of polymers". *Tribology International*, 22, 2, 103-109.
- [6] Consiglio, R., Randall, N. X. (1998). "The nano-scratch tester (NST) as a new tool for assessing the strength of ultrathin hard coatings and the mar resistance of polymer films". *Thin Solid Films*, 332, 1-2, 151-156.
- [7] Briscoe, B. J., Sinha, S. K. (2003). "Scratch Resistance and Localised Damage Characteristics of Polymer Surfaces– a Review". *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 34, 1011, 989-1002.
- [8] Dasari, A., Yu, Z.-Z. (2009). "Fundamental aspects and recent progress on wear/scratch damage in polymer nanocomposites". *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 63, 2, 31-80.
- [9] Wright, N. A., Kukureka, S. N. (2001). "Wear testing and measurement techniques for polymer composite gears". *Wear*, 251, 1-12, 1567-1578.
- [10] Läger, J. (2023). "Oscillatory tribometry: transition from static to kinetic friction". *Measurement Science and Technology*, 34, 3, 035905.

## MEDIDA DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD “g” CON DOS BOBINAS MEDIANTE LA LEY DE FARADAY

Ortuño-Molina, Santiago<sup>(1)(2)</sup>, Muñoz-Pérez, Francisco M.<sup>(1)</sup>, Castro-Palacio, Juan C.<sup>(1)</sup>, Monsoriu, Juan A.<sup>(1)</sup>

(1) Centro de Tecnologías Físicas, Universitat Politècnica de València, 46022 València, España, [sortuno@doctor.upv.es](mailto:sortuno@doctor.upv.es), [fmmuope1@upvnet.upv.es](mailto:fmmuope1@upvnet.upv.es), [juancas@upvnet.upv.es](mailto:juancas@upvnet.upv.es), [jmonsori@fis.upv.es](mailto:jmonsori@fis.upv.es)

(2) Colegio “Sagrado Corazón” HH. Maristas, 46005 Valencia, España

### RESUMEN

El presente trabajo se enmarca en la innovación de la enseñanza experimental de la Física y los resultados válidos y consistentes permiten usarlo para diseñar una práctica de laboratorio en último curso de la ESO, Bachillerato y primer curso de los grados de ingeniería. El objetivo es medir la aceleración de la gravedad de un cuerpo en caída libre utilizando dos bobinas como cronómetro. Conceptos como MRUA y Ley de Faraday de la inducción están involucradas. Los resultados obtenidos confirman la validez del método empleado.

**Palabras clave:** MRUA, aceleración, gravedad, ley de Faraday,

### INTRODUCCIÓN

La presente innovación docente ha sido desarrollada en la Unidad Docente del departamento de Física Aplicada en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño (ETSID) de la UPV.

Nuestro grupo desarrolla, desde hace más de una década, experiencias docentes de laboratorio sencillas encaminadas al aumento de la motivación del alumnado hacia el estudio de las asignaturas relacionadas con la física tanto en la Educación Secundaria (Obligatoria y no Obligatoria) y los primeros cursos del nivel universitario para las diferentes ingenierías. Por ejemplo, en los últimos años se han incorporado los sensores de los móviles al desarrollo de una amplia gama de experiencias de laboratorio, lo que ha repercutido muy favorablemente positivamente en el interés y el rendimiento de los alumnos en la parte práctica de la ciencia básica y experimental.

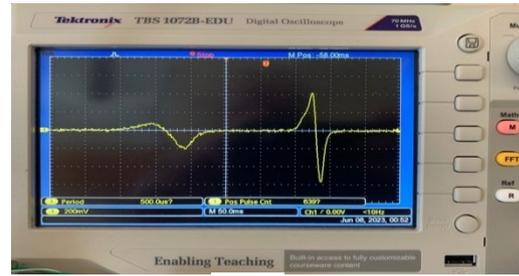
En el trabajo se desarrolla una práctica clásica como es la medida de la aceleración de la gravedad en el movimiento de un grave, utilizando como medidor de tiempos dos bobinas sencillas (500 espiras y longitud  $L = 3$  cm) mediante el principio de la ley de Faraday-Lenz de la inducción electromagnética. Dichas bobinas son conectadas en paralelo al osciloscopio y están dispuestas de forma que por su hueco se inserta un tubo de PVC de unos 70 cm (Figura 1a), a lo largo del cual viajará el tren de imanes de neodimio sujetos a una pila AA (Figura 1b). La pila tiene una función doble, por un lado, aumentar la masa del grave minimizando posibles efectos de resistencia de los campos inducidos opuestos al imán, por otro garantizar que los imanes de neodimio viajarán alineados a lo largo del eje del tubo de PVC. La fem inducida en ambas bobinas se registrará en el osciloscopio como dos señales perfectamente visibles que nos servirán para determinar los tiempos de paso del tren de imanes a través de ellas (Figura 1c). Usaremos como referencia los primeros picos de cada señal.



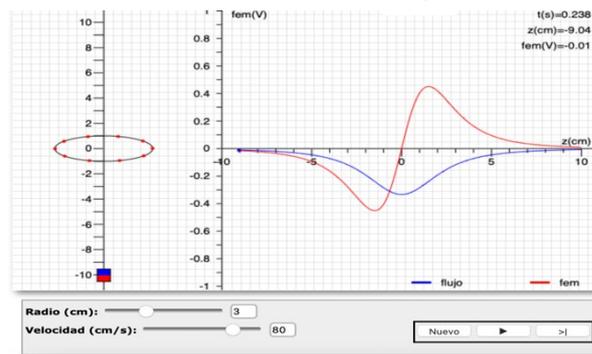
1a



1b



1c



1d

**Figuras 1a** montaje general; **1b** pila con tren de imanes; **1c** señales en osciloscopio; **1d** captura de pantalla del software desarrollado por el Prof. Dr. Ángel Franco [1].

Para la realización del experimento seguimos el modelo teórico desarrollado por el profesor Dr. Ángel Franco [1] así como otras experiencias similares llevadas a cabo por el profesor Dr. Ihab [2].

En él observamos cómo la caída de un imán a través de una espira induce un voltaje que cambia de sentido cuando el punto medio del imán atraviesa el plano de la espira (Figura 1d). Antes y después de ese momento, aparecen en la señal de la fem inducida dos picos que son fácilmente identificables mediante el uso de un osciloscopio sencillo. Podemos asumir, sin gran error, que en el caso de la bobina corta (3 cm de anchura), el cambio de sentido de la corriente ocurre también cuando el tren de imanes pasa por el punto medio de la bobina. De ese modo podemos utilizar el primer pico de señal como el punto de partida del grave ( $t_0 = 0$  s) y el primer pico de la segunda señal como el momento en que el imán pasa por el inicio de la 2ª bobina.

## OBJETIVO

El objetivo que nos hemos planteado con el montaje explicado anteriormente consiste en medir la aceleración “g” en caída libre por dos métodos: uno continuo y otro discreto, y compararlos entre sí. El método seguido para medir es sencillo y fácilmente reproducible:

- Se tomaron 10 medidas de separación entre ellas y se midió el tiempo entre los dos picos de señal positivos medidos por el osciloscopio.
- Se representaron los datos en dos series: 1) Altura vs  $t$ ; 2)  $\langle v_m \rangle$  vs  $t_c$ , siendo  $\langle v_m \rangle$  la velocidad media en cada intervalo de separación espacial entre las bobinas y  $t_c$  el valor medio del tiempo en cada intervalo.

De este modo podemos representar dos gráficas:

- a) Altura “h” frente al “t”, que debe dar una parábola con coeficiente en  $x^2$  igual a “ $g/2$  ( $m/s^2$ )”.
- b) Velocidad media “ $\langle v_m \rangle$ ” vs “ $t_c$ ”, que debe mostrar una línea recta donde su pendiente se aproxime al valor esperado “ $g$  ( $m/s^2$ )”.

## RESULTADOS

Las medidas realizadas se muestran en la tabla 1; la representación “posición vs tiempo” en la Figura 2 y la “velocidad media vs tiempo en el centro del intervalo” en la Figura 3.

**Tabla 1.** Valores obtenidos en las mediciones.

<b>h</b> <b>(m)</b>	<b><math>\langle t \rangle</math></b> <b>(s)</b>	<b><math>t_c</math></b> <b>(s)</b>	<b><math>\langle v_m \rangle</math></b> <b>(m/s)</b>
0,065	0,083	0,041	0,79
0,111	0,114	0,098	1,50
0,179	0,152	0,133	1,82
0,238	0,181	0,166	2,04
0,302	0,209	0,195	2,29
0,354	0,229	0,219	2,48
0,418	0,253	0,241	2,73
0,476	0,272	0,262	3,07
0,529	0,288	0,280	3,18
0,595	0,307	0,299	3,47

El valor obtenido para  $g$  mediante el ajuste continuo de la parábola del MRUA arroja el valor de:

$$g = 9,88 \text{ (28) } m/s^2,$$

mientras que el valor de  $g$  mediante la aproximación discreta al cálculo de  $\langle v_m \rangle$  en cada intervalo es:

$$g = 9,82 \text{ (41) } m/s^2.$$

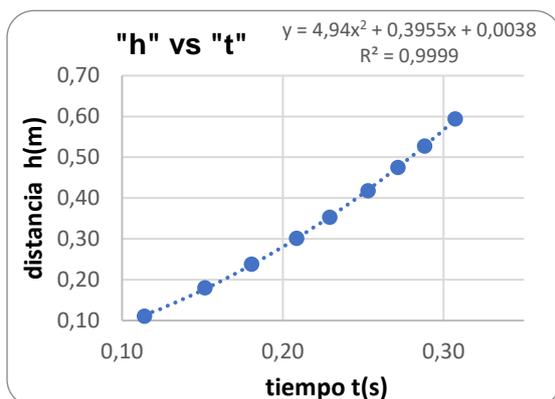


Figura 2. Método continuo.

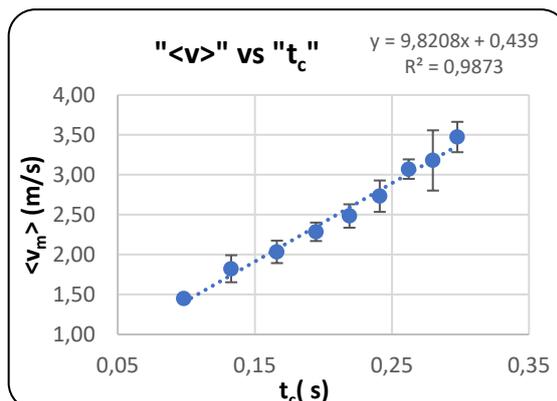


Figura 3. Método discreto.

## CONCLUSIONES

Los resultados demuestran la validez de ambos métodos para calcular  $g$  con una precisión aceptable y ponen de manifiesto la idoneidad del montaje experimental de cara a la materia de Física en 4ºESO, cursos de Bachillerato y primer curso de grados.

También se puede ver que, tal como explica Ihab [2], el efecto de la ley de Lenz es despreciable en este tipo de montajes (con un efecto sobre el resultado de la medida de  $g$  menor al 0,05%), por lo que no cabe esperar retardo en la caída del imán a través de las bobinas.

Es recomendable estudiar las condiciones que harían al experimento más cercano al ideal, como eliminar la batería para reducir posibles fricciones con el tubo, usar una distancia mayor para reducir incertidumbre o medir los tiempos con los magnetómetros del móvil, más precisos que el osciloscopio utilizado.

## REFERENCIAS

- [1] Franco, Ángel. *Física con ordenador. Demostración de la ley de Faraday*. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/fem/faraday/faraday.html>
- [2] Riad, Ihab F. (2023). "Measuring  $g$  using magnetic induction". *Physics Education*, v. 58, p.p. 7. <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6552/acb033>

## Towards improving human-computer interaction for people with speech impairment.

**Ferri-Molla, Isabel, Linares-Pellicer, Jordi, Izquierdo-Domenech, Juan**  
*Valencian Research Institute for Artificial Intelligence (VRAIN). Universitat Politècnica de València. (isfermol@vrain.upv.es, jlinares@dsic.upv.es, juaizdom@upv.es )*

### SUMMARY

A myriad of people struggle with challenges in effectively communicating and utilizing voice interaction technologies as a result of speech dictation issues caused by physiological or cognitive pathologies. Although assistive technologies exist, they frequently fall short in delivering satisfactory results due to the complex and unique nature of these challenges. Therefore, there is a pressing need for solutions that can adapt to the specific needs of these individuals, enhancing their communication capabilities, and ultimately improving their quality of life.

This work focuses on adapting ASR systems specifically for individuals with speech dictation problems. These ASR systems will be fine-tuned using real speech datasets from these individuals to enhance the systems' understanding of unique speech patterns, accents, and dialects, so that it is possible to leverage the knowledge encoded in these models and optimize their performance for the target domain.

**Key words:** HCI, ASR, pronunciation problems, foundation models.

### INTRODUCTION

Automatic Speech Recognition (ASR) systems have demonstrated their significant utility across diverse domains, including chatbots, voice assistants, and translation systems [1]. Prominent ASR systems such as whisper [1], wav2vec 2.0 [2], and OpenSeq2Seq [3] utilize deep learning to tackle the problem, while solutions based on Hidden Markov models and Natural Language Processing, like the Kaldi project [4], also exist. In addition to open-source options, commercial solutions like Google Cloud Speech-to-Text and Microsoft Azure Speech Services are available.

The recent expansion of ASR technology underscores its resilience in interacting with various systems and devices, highlighting the importance of making it more accessible to a broader user base. However, despite impressive overall performance, current speech recognition systems face challenges when transcribing speech from specific user groups with pronunciation difficulties, causing frustration for these individuals.

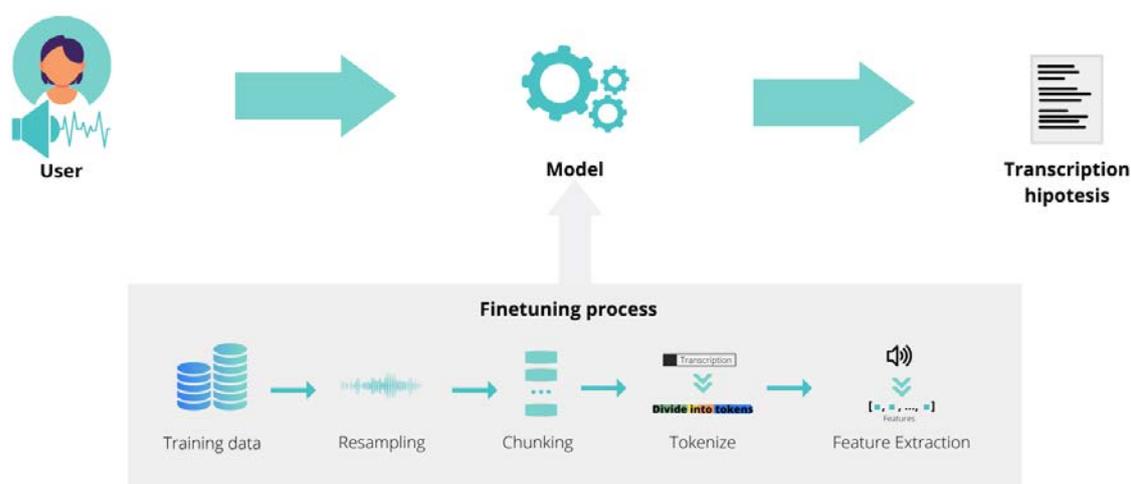
Despite advances and research in speech recognition technology [5, 6], the complexity and variations in pronunciation continue to present obstacles in developing an open-access

### OBJECTIVES

This study compares the accuracy achieved on the speech recognition task for individuals with aphasia using pre-trained models on large datasets. In addition, the extent to which performance improves when these systems are specifically adapted to individuals with aphasia-associated pronunciation difficulties is investigated.

*Aphasia* is a disorder that affects both the comprehension and expression of language [7], and is caused by dysfunctions in specific brain regions. The condition manifests as a failure in the bidirectional translation that establishes the correspondence between thoughts and language.

Regarding the data used to fine-tune the Large Language Model (LLM) to adapt the systems to the specific problem, Aphasia Bank has been used. Aphasia Bank [8] is a database included in the Talkbank Project [9], with recordings and transcriptions in several languages such as Cantonese, Croatian, English, French, German, Greek, Hungarian, Italian, Japanese, Mandarin, Romanian, and Spanish, conceived for the study of communications in people who suffer from aphasia. However, for this study, only Spanish data will be selected.



**Figure 1.** Finetuning process of an ASR system.

As explained in Figure 1, a fine-tuning process is undertaken to enhance the performance of ASR systems. In this case, Fine-tuning involves using a pre-trained speech recognition model initially trained on extensive data, followed by adaptation using a more specific dataset for the target task of transcribing speech from individuals with speech impairment. Optimization techniques adjust the model's parameters during fine-tuning, enabling adaptation to domain-specific speech characteristics affected by speech disorders. Resampling the training data to a specific sampling rate, in this case 16.000 Hz, is necessary to meet model requirements. The process includes "Chunking" to divide audio files into smaller segments, facilitating efficient memory usage and data augmentation. Tokenization, to transform the transcriptions of the training data into token sequences, and feature extraction are applied to ensure accurate speech recognition for individuals with aphasia.

## RESULTS

In this use case, data specific to the domain of interest have been collected, adapted to the specific format required by each model, and divided into different sets. The training set is used to fine-tune the model, the test set is utilized during the fine-tuning process to assess its evolution, and finally, the validation set is employed after pre-training the model to evaluate its performance and compare it with other ASR models.

Throughout the conducted experiments, we are comparing our fine-tuned Whisper model with two other models: the whisper-smal model (openai/whisper-smal) and ESPnet2-TTS [10], an end-to-end text-to-speech toolkit pre-trained in Spanish.

The Word Error Rate (WER) metric is used to measure the speech recognition models' performance. WER is calculated as follows:

$$WER = \frac{(Substitutions+Insertions+Deletions)}{RefWords}$$

The WER metric involves comparing the model's hypothesis with the original transcription and determining the number of substitutions, insertions, and deletions required to match the reference sentence. This value is then divided by the number of words in the reference sentence. A lower WER indicates a better-performing model.

Therefore, in Table 1, the results of the WER achieved by the different tested models can be seen, with the understanding that the model with the lower WER is considered superior in terms of speech recognition accuracy.

**Table 1.** WER results obtained with the different models.

<b>Model</b>	<b>WER</b>
<i>ESPnet2-TTS</i>	182.3%
<i>whisper-small</i>	121.5%
<b><i>Pretrained whisper-small</i></b>	<b>36.3%</b>

As shown in Table 1, the whisper-small model outperforms ESPnet2-TTS in this particular task, as indicated by better metrics. Subsequently, the whisper-small model underwent a fine-tuning process using data specific to the task domain. This process significantly improved the WER metric, demonstrating notable enhancements in the model's speech recognition accuracy.

## CONCLUSIONS

In conclusion, this study used fine-tuning techniques to improve the ASR system's performance for a specific task, namely adapting the models to the domain of people with speech impairments. Data was collected and divided into training, test, and validation sets. Three models were evaluated: ESPnet2-TTS, the original whisper-small model, and a fine-tuned version of whisper-small. The evaluation metric used was the WER metric, where lower values indicate better performance.

The results demonstrated that both versions of the whisper-small model outperformed the ESPnet2-TTS model, with the fine-tuned version achieving the lowest WER at 36.3%. This substantial improvement in WER clearly highlights the effectiveness of fine-tuning the model with domain-specific data. The study underscores the significance of utilizing task-specific data for ASR models, as it significantly enhances recognition accuracy, allows people with speech disorders to use this technology with more accurate results, and offers potential benefits for their communication and accessibility needs.

## REFERENCES

- [1] Radford, A., Kim, J. W., Xu, T., Brockman, G., McLeavey, C., & Sutskever, I. (2022). Robust speech recognition via large-scale weak supervision. arXiv preprint arXiv:2212.04356. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2212.04356>
- [2] Baevski, A., Zhou, Y., Mohamed, A., & Auli, M. (2020). wav2vec 2.0: A framework for self-supervised learning of speech representations. *Advances in neural information processing systems*, 33, 12449-12460.
- [3] Kuchaiev, O., Ginsburg, B., Gitman, I., Lavrukhin, V., Case, C., & Micikevicius, P. (2018, July). Openseq2seq: extensible toolkit for distributed and mixed precision training of sequence-to-sequence models. In *Proceedings of Workshop for NLP Open Source Software (NLP-OSS)* (pp. 41-46). <https://doi.org/10.18653/v1/W18-2507>
- [4] Povey, D., Ghoshal, A., Boulianne, G., Burget, L., Glembek, O., Goel, N., ... & Vesely, K. (2011). The Kaldi speech recognition toolkit. In *IEEE 2011 workshop on automatic speech recognition and understanding (No. CONF)*. IEEE Signal Processing Society.
- [5] Anggraini, N., Kurniawan, A., Wardhani, L. K., & Hakiem, N. (2018). Speech recognition application for the speech impaired using the android-based google cloud speech API. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 16(6), 2733-2739. <http://doi.org/10.12928/telkomnika.v16i6.9638>
- [6] Tomanek, K., Zayats, V., Padfield, D., Vaillancourt, K., & Biadys, F. (2021). Residual adapters for parameter-efficient ASR adaptation to atypical and accented speech. *arXiv preprint arXiv:2109.06952*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2109.06952>
- [7] Damasio, A. (1992). Aphasia. *New England Journal of Medicine*, 326(8), 531–539. <https://doi.org/10.1056/NEJM199202203260806>
- [8] MacWhinney, B., Fromm, D., Forbes, M., & Holland, A. (2011). AphasiaBank: Methods for studying discourse. *Aphasiology*, 25(11), 1286–1307. <https://doi.org/10.1080/02687038.2011.589893>
- [9] MacWhinney, B. (2007). The Talkbank Project. In: Beal, J.C., Corrigan, K.P., Moisl, H.L. (eds) *Creating and Digitizing Language Corpora*. Palgrave Macmillan, London. [https://doi.org/10.1057/9780230223936\\_7](https://doi.org/10.1057/9780230223936_7)
- [10] Hayashi, T., Yamamoto, R., Yoshimura, T., Wu, P., Shi, J., Saeki, T., ... & Watanabe, S. (2021). Espnet2-tts: Extending the edge of tts research. arXiv preprint arXiv:2110.07840. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2110.07840>

## Optimización de la concentración de azul de metileno para la tintura de algodón

**Martínez-González, Inés<sup>(1)</sup>, Montava, Ignacio<sup>(1)</sup>, Gisbet-Payá, Jaime<sup>(1)</sup>, Bonet-Aracil, Marilés<sup>(1)</sup>**

*(1) Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Escuela Politécnica Superior de Alcoy, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, 03801 Alcoy (Alicante), inmargon@epsa.upv.es*

### RESUMEN

La problemática que genera la baja solidez de las tinturas con el colorante de bajo peso molecular Basic Blue 9 (BB9) y su propiedad bactericida despierta especial interés por optimizar su uso. En este estudio se procederá a tintar tejidos de algodón por agotamiento con el colorante BB9 con cuatro concentraciones diferentes desde 0,25 % s.p.f. hasta 1 % s.p.f. para comprobar qué intensidades de color se obtienen y cuál es su eficiencia de agotamiento. Además, se realizarán ensayos de lavado para evaluar la solidez del color. Como era de esperar, la solidez al color resultó ser muy baja en todos los casos. Con respecto al agotamiento las concentraciones más bajas conseguían mayor % de agotamiento, sin embargo, a mayor concentración de BB9 se consigue mayor intensidad de color.

**Palabras clave:** Basic Blue 9, agotamiento, solidez, tejido.

### INTRODUCCIÓN

La industria textil está cada vez más concienciada con la reducción del impacto ambiental negativo que genera. Los colorantes sintéticos causan problemas medioambientales debido tanto a los materiales peligrosos producidos durante la fabricación, preparación y manipulación del colorante, como a la liberación del mismo en las aguas residuales producidas durante la tintura [1].

Existen numerosas publicaciones que buscan la recuperación de aguas residuales del colorante CI. Basic Blue 9, más conocido como Azul de Metileno [1], sin embargo, la cantidad de artículos que hablan de su aplicación al textil para su coloración es ínfima [2]. Debido a la propiedad que posee el BB9 de producir especies reactivas de oxígeno, resulta ser un compuesto de especial interés por la capacidad de lograr la inactivación fotodinámica antimicrobiana impulsada por luz [3]. Por estas características, el uso de este colorante actualmente es ampliamente utilizado en aplicaciones médicas.

Pese a sus beneficios, su clasificación como colorante básico y su bajo peso molecular dificultan su aplicación en procesos de coloración en húmedo. Esto se debe a que los colorantes de bajo peso molecular tienen tendencia a ser eliminados fácilmente mediante lavados en medio acuoso, ya que no tienen tanta afinidad por la fibra como otros de alto peso molecular.

Toda esta información sugiere que, pese a tratarse de un colorante tan ampliamente utilizado en otros campos no se ha incorporado todavía en la industria textil, lo que indica que no se ha definido todavía un protocolo de aplicación óptimo para la coloración de fibras. En este estudio se procederá a la tintura de tejidos de algodón (CO) con

diferentes concentraciones de BB9 para comprobar tanto su agotamiento como su solidez del color al lavado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para comenzar se caracterizó la tela empleada como sustrato, se trata de un tejido de calada con ligamento tafetán, con una composición 100% algodón, blanqueado, con una densidad de 46 hilos/cm y 36 pasadas/cm y un gramaje 116 g/m<sup>2</sup>. De este tejido se cortaron 4 muestras de 10 g. Se prepararon los baños de tintura con cuatro concentraciones diferentes de colorante (0,25% s.p.f., 0,5% s.p.f., 0,75% s.p.f., 1% s.p.f.), la relación de baño utilizada fue de 1/50. Todos los procesos en húmedo se llevaron a cabo empleando agua destilada obtenida del sistema de depuración propio del departamento textil de la UPV, (Campus Alcoy, España). El colorante catiónico Basic Blue 9 (BB9) con color index C.I. 52015 fue suministrado por Glentham Life Sciences Ltd (United Kingdom) tiene un peso molecular de 373,9 g/mol y la siguiente fórmula: C<sub>16</sub>H<sub>18</sub>ClN<sub>3</sub> S · 3H<sub>2</sub>O. Para determinar el pH de las disoluciones se hicieron una media de 3 mediciones utilizando el pHmetro pH METER GLP 22 de CRISON. Para ajustar el pH al deseado (pH = 6) se utilizaron 1,2 ml/l de una disolución previamente preparada de 1 g/l de NaOH, este fue suministrado por Panreac. Una vez obtenidos los baños, antes de proceder a la tintura de las muestras, se sumergen los tejidos de algodón en una disolución de 0,5 g/l de humectante no iónico a pH 7 durante unos 10 min, con este pretratamiento se busca que la coloración durante el agotamiento sea más homogénea. Con los tejidos ya preparados, se procede a iniciar el proceso de tintura, en este caso se realizó en Tint control Renigal Multi-mat. La curva de tintura es de 90 min con gradiente 2 partiendo de una temperatura de 20 °C hasta los 90 °C. A las muestras tintadas se les realiza un lavado a 60 °C durante 30 min con 0,5 g/l de detergente no iónico y un enjuague al mismo tiempo y temperatura per únicamente con agua destilada.

Se realizó una media de 3 mediciones de absorbancia de todas las aguas residuales de los ensayos a longitud de onda 665 nm, se utilizaron para ello cubetas de cuarzo que se insertaron en un espectrofotómetro de absorbancia Hitachi UH5300 Spectrophotometer. La concentración se determinó a partir de la ecuación obtenida de la recta de calibrado del colorante BB9 cuyo coeficiente de determinación es R<sup>2</sup> = 0,9993 :

$$\text{Concentración (mg/l)} = \frac{\text{Absorbancia} + 0,0026}{0,1923}$$

El ensayo de lavado doméstico se realizó en el equipo linitest fong's en base a la norma UNE-EN ISO 105-C06:2010, con condiciones de ensayo A1S: muestra cortada a 40x100 mm, 150 ml de baño, 40 °C, 30 min, con 4 g/l de detergente normalizado sin blanqueante óptico tipo 3 y 10 bolas de acero. Además, se añade un testigo multifibra normalizado cosido a uno de los extremos de la probeta. Las coordenadas cromáticas y las valoraciones de carga y descarga de color de las muestras obtenidas se determinaron realizando al menos 4 mediciones con el espectrofotómetro de reflexión Spectro 700 de datacolor, los parámetros de medición fueron iluminante D65 y observador a 10°.

## RESULTADOS

Los resultados de absorbancias medidas, concentraciones y agotamiento calculadas y miligramos de colorante que quedan en el tejido por gramo de fibra, tras finalizar el proceso, quedan reflejados en la Tabla 1. La desviación de la concentración



**Figura 1.** Muestras de CO tintado con BB9 a concentraciones 0,25; 0,5; 0,75 y 1 % s.p.f.

calculada teniendo en cuenta el margen de error de dilución de las disoluciones y de medición del equipo es  $< 5\%$ . Se puede apreciar que el % de agotamiento es superior cuanto menor es la concentración del colorante utilizado en el baño. Sin embargo, como es de esperar, la concentración de BB9 que queda en el tejido es superior conforme aumenta la concentración de BB9 en el baño de tintura, no obstante, la progresión no es del todo proporcional, la muestra de 0,5 % s.p.f. no llega a tener el doble de concentración que la de 0,25 %s.p.f. Haciendo una dispersión con estos datos se observa que el coeficiente de determinación de su línea de tendencia es de  $R^2 = 0,9771$ .

**Tabla 1.** Absorbancias de la disolución inicial, después del agotamiento lavado a 60° C con detergente y lavado a 60° C sin detergente. concentración de colorante que queda en el tejido.

% s.p.f.	Muestra	Absorbancia	Concentración (mg/l)	% Agotamiento	Conc. Colorante/tejido (mg/g)
<b>0,25</b>	Inic. 1/10	1,0013	52,2066	82,36	1,6916
	Agot. 1/2	0,8827	9,2071		
	Lav. 60 det	1,3307	6,9333		
	Lav. 60	0,4270	2,2340		
<b>0,5</b>	Inic. 1/10	1,8777	97,7778	63,06	2,1945
	Agot. 1/10	0,6920	36,1206		
	Lav. 60 det. 1/2	1,2723	13,2598		
	Lav. 60	0,8643	4,5082		
<b>0,75</b>	Inic 1/20	1,3877	144,5935	56,89	3,0742
	Agot 1/10	1,1960	62,3297		
	Lav 60 det. 1/2	1,5277	15,9154		
	Lav. 60	0,9330	4,8653		
<b>1</b>	Inic. 1/20	1,8857	196,3876	57,03	4,1316
	Agot. 1/10	1,6200	84,3786		
	Lav. 60 det. 1/10	0,5090	26,6043		
	Lav. 60 1/2	0,2640	2,7728		

Las coordenadas cromáticas tanto del tejido de algodón de partida como de las diferentes muestras obtenidas quedan indicadas en la Tabla 2. La intensidad de color se acentúa con el incremento de la concentración de BB9 ( $L^*$  más baja indica color más oscuro,  $a^*$  más negativa indica más azul), esto también se aprecia de manera visual en la Figura 1. Las diferencias de color  $dE^*$  parecen mantenerse estables en el caso de las muestras de 0,25 % s.p.f y 0,5 % s.p.f, sin embargo, esta diferencia aumenta en las muestras de 0,75 % s.p.f y 1 % s.p.f. Con respecto al ensayo de lavado doméstico, sus resultados de degradación son deficientes en todos los casos, la descarga del tejido multifibra parece afectar en mayor medida a los tejidos de lana (WO), algodón (CO), poliamida (PA) y acetato (CTA) y con menor impacto a los tejidos de poliéster (PES) y acrílico (PAN).

**Tabla 2.** Coordenadas cromáticas de las muestras e índices de degradación y descarga.

Muestra	L*	a*	b*	dE*	Deg.	Descarga					
						WO	PAN	PES	PA	CO	CTA
<b>CO blanco</b>	96,35	5,37	-16,08								
<b>0,25</b>	50,05	-12,77	-29,88								
<b>0,25 lav</b>	53,93	-14,88	-28,22	4,71							
<b>0,25 lav dom</b>	67,71	-11,29	-27,93	14,32	1	2-3	4-5	4-5	2-3	3-4	3
<b>0,5</b>	43,13	-8,52	-32,56								
<b>0,5 lav</b>	46,8	-10,87	-31,37	4,53							
<b>0,5 lav dom</b>	61,17	-14,2	-26,91	14,27	1	2	4	4	2	3	2-3
<b>0,75</b>	38,68	-4,94	-33,86								
<b>0,75 lav</b>	42,04	-7,16	-32,58	4,23							
<b>0,75 lav dom</b>	59,28	-13,63	-26,31	19,35	1	2	3-4	3-4	2	3	2
<b>1</b>	34,97	-1,68	-34,78								
<b>1 lav</b>	40,37	-6,03	-33,44	7,07							
<b>1 lav dom</b>	56,95	-13,46	-26,87	19,19	1	2	3-4	3-4	2	2-3	2

## CONCLUSIONES

Como se ha podido apreciar en los resultados, se ha conseguido la coloración de tejidos de algodón con BB9 a diferentes concentraciones, sin embargo, el uso de este colorante por sí solo no consigue solidez del color al lavado dado su bajo peso molecular.

Se ha visto que el % de agotamiento es más alto conforme se reduce la concentración de colorante del baño, pero la reducción de colorante también consigue menor intensidad de color y menor cantidad de colorante por peso de fibra, estos valores no siguen una progresión completamente lineal por lo que sería interesante comprobar si su desviación es más alta en agotamientos con mayor concentración de BB9.

## LÍNEAS FUTURAS

Como líneas futuras se estudiará la efectividad de las distintas muestras frente a la inactivación de baterías y realizarán pruebas con diferentes compuestos auxiliares como pueden ser mordientes o fijadores que puedan favorecer la solidez del color al lavado.

## REFERENCIAS

- [1] Tenev, M. D., Farías, A., Torre, C., Fontana, G., Caracciolo, N., & Boeykens, S. P. (2019). Cotton industry waste as adsorbent for methylene blue. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 7(4), 667-677. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.d7.0269>
- [2] Jung, J. S., & Kim, S. H. (2019). Application of smectite for textile dyeing and fastness improvement. *RSC advances*, 9(63), 36631-36639. <https://doi.org/10.1039/C9RA05768D>
- [3] Khat tab, T. A., & Kamel, S. (2021). Recent advances in sensitizer dyes for photodynamic therapy. *Egyptian Journal of Chemistry*, 64(8), 4037-4052. [10.21608/EJCHEM.2021.65201.3395](https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2021.65201.3395)

## Láseres Poliméricos Delgados Basados En Nanografenos

**Dijkstra-Martín, Diego<sup>(1)</sup>, Farrando-Pérez, Alex<sup>(2)</sup>, Díaz-García, María<sup>(3)</sup>**

(1) *Departamento de Física Aplicada, Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante.*

*[diegodijkstra98@gmail.com](mailto:diegodijkstra98@gmail.com)*

(2) *Departamento de Física Aplicada, Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante.*

*[alex.farrando5@gmail.com](mailto:alex.farrando5@gmail.com)*

(3) *Departamento de Física Aplicada e Instituto Universitario de Materiales, Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante. [maria.diaz.garcia@gmail.com](mailto:maria.diaz.garcia@gmail.com)*

### RESUMEN

Actualmente existe una gran demanda de dispositivos láser en diversos entornos profesionales como la medicina o las telecomunicaciones. En las líneas de investigación para optimizar los láseres, destacan los materiales orgánicos, que han permitido mejorar las propiedades de tamaño y flexibilidad. En este trabajo se han estudiado las propiedades ópticas (absorción y fotoluminiscencia) de un nanografeno (NG) muy novedoso. Primero se preparan muestras en forma de películas poliméricas delgadas mediante la técnica de spin coating, que contienen al NG y se encuentran en configuración de guía de ondas. Una vez detectada la presencia de emisión espontánea amplificada (ASE) del NG, se fabrican láseres de realimentación distribuida (DFB).

El láser posee una cavidad resonante que, en nuestro caso, consiste en una red de difracción de relieve unidimensional. Esta red se graba en una película de fotoresina (gelatina dicromatada) mediante la técnica de litografía holográfica (LH) y se deposita encima de la película delgada activa. Los láseres resultantes presentan emisión cercana al infrarrojo (NIR). Además, los tiempos de vida operacional han resultado ser notablemente largos en comparación con otros NG ya estudiados. Este trabajo ha contribuido a una publicación de un artículo científico, que incluye la síntesis del compuesto.

**Palabras clave:** Emisión Espontánea Amplificada (ASE); Fotoluminiscencia (PL); Litografía Holográfica (LH); Láser con Realimentación Distribuida (DFB); Nanografeno (NG); Región Cercana al Infrarrojo (NIR).

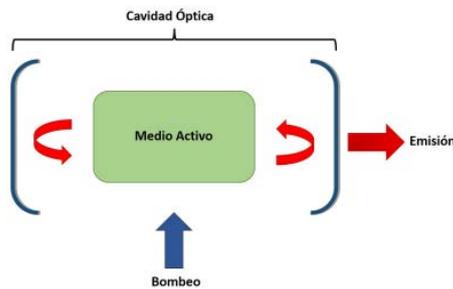
### INTRODUCCIÓN

El láser se trata de un dispositivo óptico que recibe una energía de entrada y la transforma en radiación electromagnética de salida.

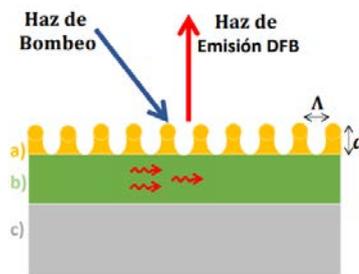
Las partes constituyentes de los dispositivos láser se resumen en la Figura 1: i) un medio activo, en el cual se puede obtener una amplificación de la radiación electromagnética. ii) el mecanismo de aporte energético conocido como bombeo, para excitar el medio activo y lograr la amplificación. iii) una cavidad resonante que produzca la realimentación de la señal óptica, con el fin de obtener una alta coherencia espacial y temporal en el haz de salida.

Nuevos nanografenos han demostrado tener éxito en aplicaciones de ganancia, pudiendo ser utilizados como medio activo en dispositivos láser. En el presente trabajo, se han fabricado láseres de realimentación distribuida (DFB) [1]. Concretamente, son

dispositivos en los cuales la cavidad resonante es una red de difracción de espesor modulado (Figura 2).



**Figura 1.** Partes básicas constituyentes de un láser.



**Figura 2.** DFB de segundo orden con una red difractiva 1D grabada sobre la capa activa de la película delgada. a): Red de modulación de espesor que forma el resonador ( $\Lambda$ : Periodo de la red;  $d$ : profundidad de la red). b): Película fina de PS con moléculas de NG dispersas. c): Sustrato de Fused Silica.

La red se graba sobre una capa de gelatina dicromatada mediante litografía holográfica (LH) y está dispuesto sobre la capa activa [2]. Esta red tiene dos funciones principales:

- Forzar a la luz a entrar en resonancia dentro de la película activa, amplificando la señal.
- Permitir que una porción del haz escape al medio, constituyendo la emisión láser.

La luz que se verá amplificada y que podrá escapar al exterior constituyendo la emisión láser, únicamente será la longitud de onda que obedezca a la ley de Bragg:

$$m\lambda_{Bragg} = 2n_{eff}\Lambda$$

Donde  $n_{eff}$  es el índice de refracción efectivo y  $\Lambda$  es el periodo de la red. En el presente trabajo se opera a segundo orden de difracción ( $m=2$ ) lo cual proporciona una emisión láser en la dirección perpendicular a la red (Figura 2).

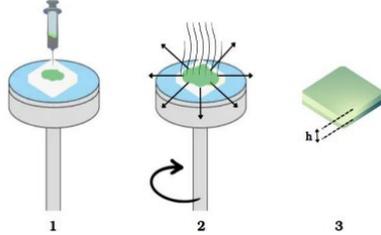
Antes de fabricar los láseres, se preparan las muestras de películas delgadas por el método de *spin coating* (Figura 3). Seguidamente se mide la presencia de emisión espontánea amplificada (ASE), la cual indica si el material, que se encuentra en configuración de guía de ondas, es capaz de mostrar cierta ganancia, emitiendo más luz de la que recibe y además con cierto grado de coherencia (Figura 4).

## OBJETIVOS

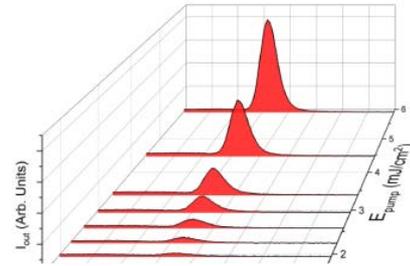
El presente trabajo ha involucrado una serie de objetivos que se presentan en orden:

1. Fabricar películas delgadas poliméricas con distintas concentraciones del NG disperso, y realizar medidas de absorción y fotoluminiscencia de las muestras.
2. Estudiar la presencia de ASE excitando las muestras a los picos de absorción del NG. También se ha estudiado la fotoestabilidad, que es el tiempo que tarda la muestra en disminuir la intensidad de luz emitida a la mitad de su valor inicial.

3. Una vez determinada la ASE, se preparan los dispositivos láser grabando una red de difracción en una capa de fotoresina encima de la película activa.
4. Medir los nuevos láseres DFB, determinando las longitudes de onda a la que emiten luz coherente, así como las energías umbrales  $E_{umbral}^{DFB}$



**Figura 3.** Método de Spin-Coating. (1) deposición de la disolución, (2) rotación y evaporación del tolueno, (3) formación de una película homogénea y fina de espesor  $h$ .

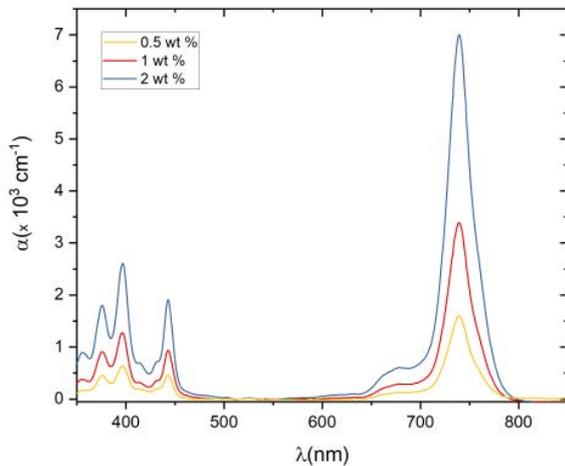


**Figura 4.** Aumento de la Intensidad y estrechamiento de la PL alrededor de la  $\lambda_{ASE}$  a partir de un cierto umbral energético conocido como  $E_{umbral}^{ASE}$

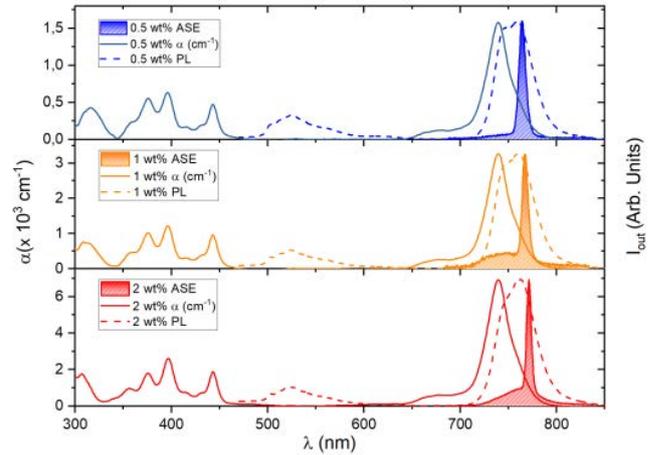
Se han preparado muestras del NG en las concentraciones del 0.5, 1 y 2 % en peso. En primer lugar, se encuentra un máximo de absorción en los 740 nm. Precisamente a esta longitud de onda se excitan las muestras para encontrar la PL y la ASE. (Figuras 5 y 6).

Después se ha medido la fotoestabilidad en condiciones extremas, destacando la curva excitando al máximo de absorción (740 nm) donde la muestra no decayó durante más de 90 minutos (Figura 7).

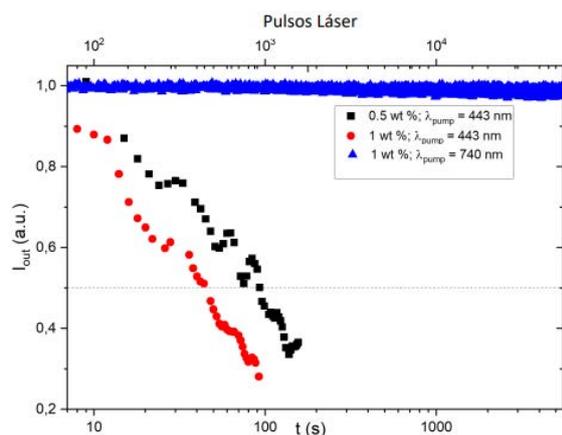
Finalmente, a partir de la ecuación de Bragg a segundo orden, se han sintonizado distintos picos de emisión láser a partir de la fabricación de dispositivos DFB (Figura 8).



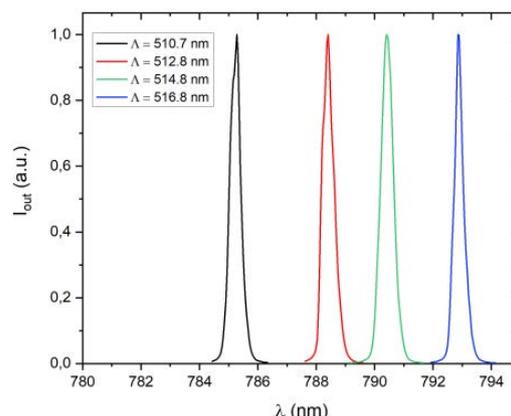
**Figura 5.** Curvas de absorción del NG en diferentes concentraciones.



**Figura 6.** Coeficiente de absorción ( $\alpha$ ; líneas sólidas, eje izquierdo), PL (líneas discontinuas, eje derecho) y ASE (área sombreada, eje derecho). Excitando a 443 nm.



**Figura 7.** Curvas de Fotoestabilidad en condiciones de bombeo extremas.



**Figura 8.** Espectros de emisión láser de los DFB fabricados con distintos periodos de red.

## CONCLUSIONES

El trabajo realizado ha permitido estudiar un nuevo NG con una síntesis muy novedosa [3], mostrando absorción y ASE en la región cercana al infrarrojo (NIR). Además, se ha estudiado la fotoestabilidad en condiciones extremas (10 veces por encima de  $E_{umbral}^{ASE}$ ), indicando que el material soporta más de 90 minutos en régimen ASE sin degradarse cuando se excita al máximo de absorción. Esta fotoestabilidad resulta reveladora en comparación con otros NGs semejantes estudiados [4].

Finalmente, se han podido fabricar láseres DFB, en los que, variando el periodo de la red de difracción  $\Lambda$ , se han podido sintonizar diferentes picos de emisión láser, todos ellos en la región NIR.

Estos resultados indican que el NG estudiado es un buen candidato para futuros trabajos de optimización y fabricación de dispositivos láser.

## REFERENCIAS

- [1] Kogelnik, H., & Shank, C. V. (1972). "Coupled-Wave Theory of Distributed Feedback Lasers". *Journal of Applied Physics*, 43(5), 2327-2335. <https://doi.org/10.1063/1.1661499>
- [2] Ramirez, M., Boj, P. G., Navarro-Fuster, V., Vragović, I., Villalvilla, J. M., Alonso, I., Trabadelo, V., Merino, S., & Díaz-García, M. A. (2011). "Efficient organic distributed feedback lasers with imprinted active films". *Optics Express*, 19(23), 22443. <https://doi.org/10.1364/oe.19.022443>
- [3] Shen, T., Dijkstra, D., Farrando-Pérez, A., Boj, B. G., Villalvilla, J. M., Quintana, J. A., Zou, Y., Hou, X., Wei, H., Li, Z., Sun, Z., Díaz-García, M. A., & Wu, J. (2023). "Fused Triangulene Dimers: Facile Synthesis by Intramolecular Radical Coupling and Application for Near Infrared Lasers". *Angewandte Chemie* (aceptado, 5 Mayo 2023). <https://doi.org/10.1002/anie.202304197>
- [4] Muñoz-Mármol, R., Gordillo, F., Bonal, V., Villalvilla, J. M., Boj, P. G., Quintana, J. M., Ross, A. M., Paternò, G. M., Scotognella, F., Lanzani, G., Derradji, A., Sancho-García, J. C., Gu, Y., Wu, J., Casado, J., & Díaz-García, M. A. (2021). "Near-Infrared Lasing in Four-Zigzag Edged Nanographenes by 1D versus 2D Electronic  $\pi$ -Conjugation". *Advanced Functional Materials*, 31(41), 2105073. <https://doi.org/10.1002/adfm.202105073>

## ¿Debe la inteligencia artificial ser un complemento para las ciencias experimentales?, caso particular de la ciencia de materiales

Llorca Alcón, Manuel <sup>(1)</sup>, Garcia Sanoguera, David <sup>(2)</sup>, Fenollar Gimeno, Octavio <sup>(2)</sup>, Cascales Espejo, Antonio <sup>(2)</sup>

(1) *Departamento de Informática de Sistemas y Computadores Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell, 1. Email: mllorca@disca.upv.es*

(2) *Instituto Universitario de Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell, 1. Email: [dagarsa@dimmm.upv.es](mailto:dagarsa@dimmm.upv.es), [ocfegi@upv.es](mailto:ocfegi@upv.es), [acasesp@upvnet.upv.es](mailto:acasesp@upvnet.upv.es)*

### RESUMEN

La inteligencia artificial ofrece capacidades avanzadas de procesamiento de datos, análisis y modelado que pueden acelerar la investigación científica, mejorar la eficiencia y ayudar a conseguir nuevos conocimientos en las ciencias experimentales. Con este trabajo, se pretende identificar patrones, tendencias y relaciones ocultas en los datos que puedan resultar valiosos para la toma de decisiones basándose en los resultados, y que suponga un ahorro de tiempo y recursos. Con este trabajo de investigación se pretende analizar mediante el estudio de diferentes modelos de regresión de Machine Learning si éstos son capaces de prever como afecta, en las propiedades mecánicas, la adición, a una matriz polimérica BloHDPE, de diferentes cargas de material residual formado por fibras de cáñamo, polvo de almendra, polvo de argán y micropartículas de arcilla Hallosyte.

**Palabras clave:** Polietileno de alta densidad biodegradable; Machine Learning, propiedades mecánicas, modelos de regresión

### INTRODUCCIÓN

El proceso de análisis de resultados de las ciencias experimentales es muy lento, y la generación de resultados suele ser caro y tedioso. Es por ello, que desde hace tiempo se analiza el efecto para determinar el comportamiento matemático del proceso, y así minimizar las pruebas experimentales y aumentar la velocidad del análisis de la información.

Centrándonos en la ciencia de los materiales, ésta es una disciplina interdisciplinar que se centra en el estudio de la estructura, propiedades, comportamiento y rendimiento de los materiales. En particular, en el campus de Alcoi se ha realizado un gran esfuerzo en el análisis de la ciencia de los propilenos, que son los polímeros más utilizados en la industria. Pensando en la sostenibilidad y para reducir la dependencia de los recursos fósiles y disminuir la huella de carbono, siendo más respetuoso con el medio ambiente, intentaremos centrar el esfuerzo en los Bio-propilenos, que tienen características similares, pero son obtenidos a partir de materiales de origen renovable, como biomasa o cultivos agrícolas.

Normalmente, se parte de una matriz polimérica con sus características básicas y se añade un residuo de algún material para analizar el cambio de comportamiento en sus propiedades y el efecto que tiene dicha carga en la matriz inicial.

La adición de diversas mezclas como carga dificulta el análisis del experto y la determinación del comportamiento matemático del modelo. Cuando la dificultad para determinar el efecto de las sumas de las cargas, se incrementa, la utilización de modelos de inteligencia artificial se considera una vía complementaria para validar los mismos. Lo más importante para este entrenamiento es la sistematización de la recogida de datos, estableciendo criterios comparables [1].

## OBJETIVOS

El objetivo principal es entrenar modelos de Inteligencia Artificial, en especial modelos de análisis de regresión, para intentar predecir el comportamiento del material ante diferentes mezclas de cargas. Aunque el número de probetas es adecuado (625), el número de combinaciones entre la matriz base y las diferentes cargas (59) no es demasiado alto para poder obtener unos resultados determinantes, pero es una base interesante para analizar los modelos de regresión de Machine Learning. Se pretende obtener los resultados y determinar si estas técnicas suponen un complemento a la investigación tradicional.

## TOMA DE MUESTRAS

Se ha trabajado con la matriz polimérica compuesta por BioHDPE (Polietileno de alta densidad biodegradable), producido por Braskem, cuya referencia es SHA7260. Esta matriz tiene una alta resistencia a la tracción (es capaz de soportar una gran cantidad de fuerza antes de romperse). También tiene una alta resistencia al impacto, por lo que se puede utilizar cuando el material deba sufrir golpes o impactos. Es un material relativamente rígido y tiene buena estabilidad térmica.

La elección de la carga se basa en la facilidad de conseguir estos materiales que existen en gran cantidad en el área mediterránea, lo cual mejora la economía circular regional por la reutilización de estos residuos.

Inicialmente, cabe esperar que la adición de estas cargas suponga varios efectos en las propiedades, como por ejemplo el reforzamiento mecánico. el aumento de la resistencia mecánica del material, el aumento de la rigidez, de la resistencia a la tracción, de la resistencia al impacto del compuesto, así como aumenta la conductividad térmica y la resistencia al calor [2, 3].

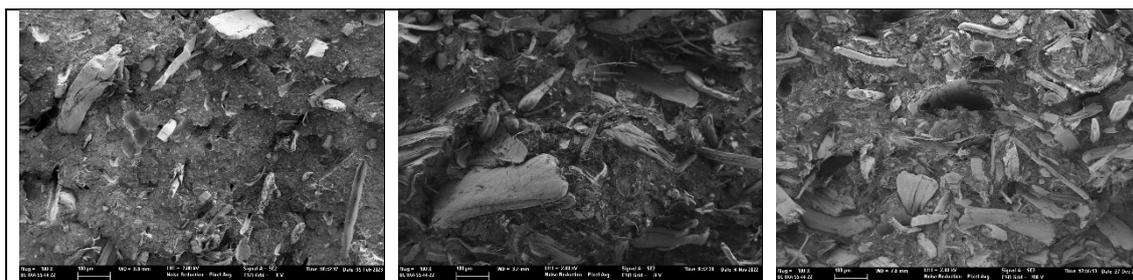
Las cargas seleccionadas son fibra de cáñamo (en porcentajes de 5%, 10%, 15% y 20%), polvo de almendra (en porcentajes de 2,5% y 5%), polvo de argán (en porcentajes de 2,5% y 5%) y micro arcillas – Hallosyte (en porcentajes de 2,5% y 5%). Para todas las mezclas se ha utilizado un 2% del copolímero PE-g-Ma (metacrilato de polietilenglicol) como agente compatibilizante, para mejorar la adhesión y homogenización de la mezcla.

Para la realización de las muestras se ha utilizado la extrusora de doble husillo cónica Xplore MC 40 realizando las mezclas en recipientes de 20 gramos (dependiendo de la carga se consiguen entre 2 y 3 probetas) con 59 combinaciones de materiales distintos entre las diferentes combinaciones de cargas. Para realizar las probetas se ha utilizado la inyectora Xplore IM 12. En total se han creado 625 probetas para utilizar en la máquina de tracción con la dimensión entre las garras de 50x5x2 mm, y 625 probetas para pruebas de impacto Charpy de dimensiones 80x10x4 mm.

Para realizar las pruebas de tracción se ha utilizado la Máquina universal de tracción/flexión Ibertest ELIB 50 utilizando una velocidad de 10 mm/min, y una fuerza de 5 kN.

Para completar el estudio, y utilizando el Microscopia electrónico de Barrido de emisión de campo con EDS FESEM ZEISS ULTRA 55 de Oxford Instruments se ha realizado 6.084 fotografías a 1K aumentos y una tensión de 2KV. Para poder hacer comparaciones, se han realizado 261 fotografías a 100 aumentos y 257 a 200 aumentos.

En la figura 1 se puede observar diferentes imágenes obtenidas de diferentes muestras.



**Figura 1.** Imágenes de microscopia con diferentes porcentajes de la matriz BioHDPE y de carga de residuo. Izq. 92,5 % de BioHDPE, Cen. 80 % de BioHDPE, Der. 70% de BioHDPE

## DATOS EXPERIMENTALES

En la siguiente tabla mostraremos alguna de las 59 mezclas de cargas obtenidos con la medición de una propiedad mecánica fundamental como es la resistencia a la tracción.

**Tabla 1.** Diferentes valores de porcentaje de la matriz Polimérica BioHDPE y diferentes combinaciones de carga, junto a la medición de la resistencia a la tracción.

Muestra	% BioHDPE	% Cábano	% Almendra	% Argán	% Hallos	Resistencia (MPa)
1	100	0	0	0	0	25,772
2	97,5	0	2,5	0	0	26,930
3	95	0	5	0	0	26,932
...	...	...	...	...	...	...
25	85	10	0	2,5	2,5	27,603
...	...	...	...	...	...	...
58	72,5	20	2,5	2,5	2,5	30,560
59	65	20	5	5	5	32,162

## RESULTADOS

Se han entrenado varios modelos de regresión de Machine Learning y se han analizado dos indicadores

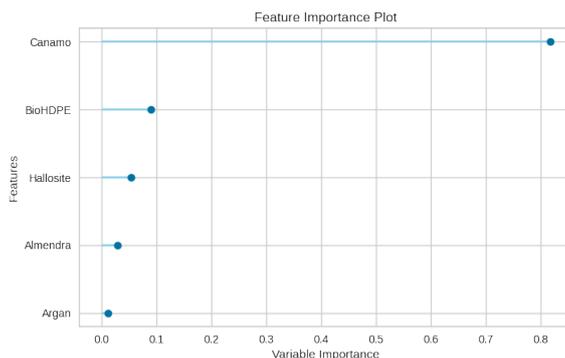
- R2 (Coeficiente de Determinación): Es una medida de cómo se ajustan los datos a la línea de regresión del modelo. El valor R2 varía de 0 a 1, siendo 1 un buen ajuste. Un valor R2 bajo indica que el modelo no se ajusta bien a los datos.
- MAPE (Error porcentual absoluto medio): Es la media de los errores porcentuales en todas las predicciones. Cuando más cercano a 0 mejor se comportará el modelo.

Y se ha obtenido con la utilización del modelo Extra Trees Regressor unos datos muy interesantes, con un valor ajuste de casi un 90 % de los datos al modelo y un error muy bajo, por lo tanto, la predicción es muy acertada. En la Tabla 2 podemos ver el resultado del modelo analizado.

**Tabla 2.** Valores de los parámetros R2 y MAPE del modelo de regresión Extra Trees Regressor

Modelo de regresión	R2	MAPE
Extra Trees Regressor	0,9021	0,0135

En la Figura 2 podemos obtener la influencia en los datos de cada uno de los elementos que forman parte del material final, observando que la fibra de cáñamo es la que más influencia tiene en el resultado final.



**Figura 2.** Importancia de cada elemento en el resultado final del material

## REFERENCIAS

- [1] Stephen Wu, Hironao Yamada, Yoshihiro Hayashi, Massimiliano Zamengo and Ryo Yoshida. (2020). "Potentials and challenges of polymer informatics: exploiting machine learning for polymer design" <https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.07683>
- [2] Vahid Daghigh, Thomas E Lacy Jr, Hamid Daghigh, Grace Gu, Kourosh T Baghaei, Mark F Horstemeyer and Charles U Pittman Jr. (2020). "Machine learning predictions on fracture toughness of multiscale bio-nano-composites" <https://doi.org/10.1177/0731684420915984>
- [3] Vahid Daghigh, Thomas E Lacy Jr, Hamid Daghigh, Grace Gu, Kourosh T Baghaei, Mark F Horstemeyer and Charles U Pittman Jr. (2019). "Heat deflection temperatures of bio-nano-composites using experiments and machine learning predictions" <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100789>

## Revisión de las aplicaciones actuales de la Policetona tras su recomercialización y desafíos actuales para su crecimiento

Martínez Iborra, Juan Enrique<sup>(1)</sup>, Eixerés Tomás, Beatriz<sup>(1)</sup>, Sánchez Caballero, Samuel<sup>(1)</sup>, Sellés Cantó, Miguel Ángel<sup>(1)</sup>, Llidó Barragán, Alexandra<sup>(1)</sup>

(1) Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, [juamari3@epsa.upv.es](mailto:juamari3@epsa.upv.es), [beaeito@dimmm.upv.es](mailto:beaeito@dimmm.upv.es), [sasanca@dimmm.upv.es](mailto:sasanca@dimmm.upv.es), [maselles@dimmm.upv.es](mailto:maselles@dimmm.upv.es), [allibar@epsa.upv.es](mailto:allibar@epsa.upv.es)

### RESUMEN

La policetona (PK) es un polímero sintético que se utiliza en diversas aplicaciones, como en la fabricación de empaques de alimentos, dispositivos electrónicos o juguetes, el cual fue introducido por primera vez al mercado en 1996 por la empresa Shell, teniendo un éxito limitado en el mercado y deteniendo su comercialización debido a su baja demanda en el año 2000. No obstante, pese a su retirada del mercado se continuaron realizando investigaciones en laboratorios sobre este material, hasta que en 2015 Hyosung Chemicals logró relanzar comercialmente con éxito la PK. Desde entonces, la producción de PK ha experimentado un crecimiento constante año tras año, y el éxito en su recomercialización ha contribuido a revitalizar el interés en este material.

Este estudio se enfocará en examinar los segmentos de mercado en los que la PK está compitiendo en la actualidad, teniendo como objetivo principal resaltar los datos proporcionados por los fabricantes sobre las aplicaciones más comunes en las que se utiliza la PK y proporcionar ejemplos reales de su uso.

**Palabras clave:** Policetona, Polyketone, PK, Aplicaciones Industriales, Polímeros de Ingeniería.

### INTRODUCCIÓN

La Policetona (PK) es un plástico de altas prestaciones, con una gran resistencia a la rotura, al impacto y a la abrasión, y una alta resistencia química y a la permeación [1,2,3]. El material combina propiedades mecánicas comparables a las de los poliésteres y las poliamidas junto con propiedades de barrera, resistencia química y a la abrasión superiores a estos [4]. Además, cuenta con una buena estabilidad dimensional frente al calor, manteniendo sus propiedades a altas temperaturas y no sufriendo de degradación significativa en condiciones de humedad o de degradación hidrolítica [1].

En el aspecto económico, la PK se obtienen a partir materias primas relativamente económicas y fácilmente disponibles, lo cual hace que compita en coste con poliamidas o el POM. En cuanto a su procesabilidad, el material necesita de temperaturas de procesamiento parecidas al POM, y puede sustituirlo sin necesidad de grandes inversiones en maquinaria nueva. Además, la PK encoge de manera prácticamente isotrópica, lo cual simplifica el diseño de moldes y mejora las tolerancias de los productos acabados.

Por último, la PK es una alternativa más sostenible que otros plásticos utilizados en la actualidad, ya que su producción consume CO<sup>2</sup>. La PK también es biodegradable y fotodegradable [5], fácilmente esterilizable y desinfectable [6], y ha sido aprobado por numerosas agencias estatales para su uso en contacto de agua potable, comida o juguetes infantiles.

## OBJETIVOS

La meta de este estudio es identificar los nichos de mercado donde la PK ha logrado destacarse, a fin de analizar sus fortalezas y debilidades comerciales y prestando atención a los diferentes materiales con los que compite según la aplicación específica que busca cubrir. Asimismo, el objetivo es presentar casos reales de éxito en la implementación industrial del material después de su reintroducción en el mercado.

## RESULTADOS

### Fabricantes

Durante esta investigación, se identifican únicamente dos fabricantes destacados de PK a nivel global. En primer lugar, se encuentra Hyosung Chemical, una empresa de Corea del Sur que, en colaboración con diversos distribuidores, comercializa la reconocida marca Poketone® a nivel internacional. En segundo lugar, estaría AKRO-PLASTIC GmbH, una empresa alemana que comercializa la marca Akrotek PK®. No se ha hallado evidencia de otros fabricantes activos en el mercado, lo cual subraya la importancia y el dominio de estos dos actores en la industria de la PK.

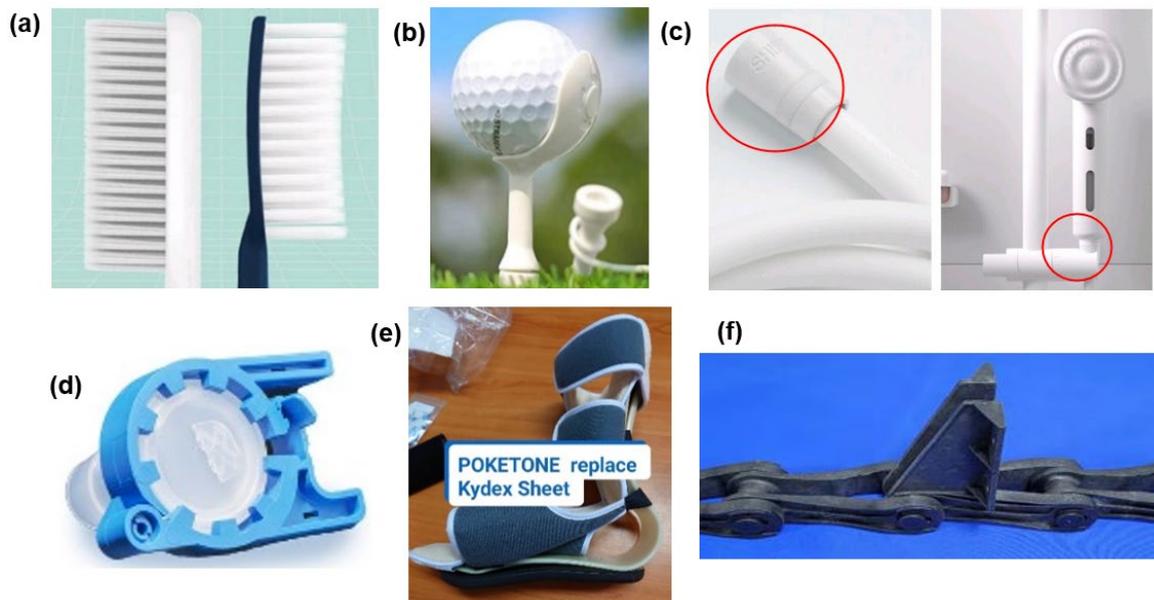
### Aplicaciones

Hyosung Chemical promueve la PK como un material de reemplazo para aplicaciones que utilizan PA, POM, PBT, PC o mPPO. Según los datos proporcionados por Hyosung Chemical, la mayoría de las aplicaciones más comunes elogian la buena resiliencia, resistencia al impacto y resistencia química de la PK, con solo una excepción. Además, ocho de estas aplicaciones mencionan la resistencia a la abrasión como una propiedad importante. También cabe destacar su no toxicidad, propiedades de barrera y resistencia al agua. Según la información disponible del primer trimestre de 2023, aproximadamente el 30% de las ventas de Poketone® estaban relacionadas con aplicaciones que requieren materiales no tóxicos, como juguetes o cosméticos [8]. Según este fabricante las aplicaciones más comunes en 2021 para su material Poketone® fueron, en orden ascendente, los siguientes [6]: Cascos deportivos, tubos y componentes de bombeo para Gas y Petróleo, envases para cosmética, ruedas para rodillos industriales, ciertas partes para purificadores de agua, cintas transportadoras para alimentos, conectores para eléctrica, electrónica y automotriz, partes resistentes a la abrasión en líneas de producción de guantes, engranajes y, en primer lugar, partes de juguetes.

La empresa AKRO-PLASTIC GmbH promociona la PK como un material versátil, cuyos mercados más importantes son el automotriz, la industria alimentaria, el mobiliario y la ingeniería mecánica, destacando su uso en aplicaciones de engranajes y mangueras rígidas [7].

A continuación, se presentan diversas aplicaciones más específicas de la PK que merecen ser destacadas en el presente estudio, las cuales se pueden observar en la figura 1. Entre ellas, cabe mencionar su potencial utilización en la fabricación de cepillos de dientes de mayor resistencia y menor grosor o su capacidad para desempeñar la función de soporte para pelotas de golf, gracias a su notable resistencia al impacto. De igual manera, se ha constatado que la PK se emplea en el ámbito sanitario para por ejemplo la producción de abrazaderas, o también en la producción de férulas terapéuticas gracias a su alta resistencia a la fatiga. Además, se ha comprobado que el

material es adecuado para ser utilizado en conexiones y tuberías de grifería, o también como cadena para la recogida de lodos en sistemas de tratamiento y limpieza de aguas.



**Figura 1.** (a) Cepillo de dientes de polipropileno más grueso a la izquierda y de PK más fino a la derecha [9], (b) Soporte para pelota de golf [10], (c) Conexión de roseta de ducha de PK [11], (d) Abrazadera sanitaria [12], (e) Férula para tobillo de PK [13], (f) Cadena de PK [14]

## CONCLUSIONES

El estudio de mercado realizado revela cómo la Policetona (PK) está ganando cada vez más relevancia en una amplia variedad de aplicaciones y como este material se posiciona como una alternativa viable, versátil y más ecológica en comparación con sus competidores. Sin embargo, a pesar de su creciente popularidad, la PK enfrenta desafíos importantes para seguir creciendo.

Uno de los desafíos clave es la competencia con materiales establecidos, como poliamidas o POM, que tienen una presencia arraigada en la industria y son ampliamente conocidos por fabricantes y consumidores. Además, a pesar de las propiedades destacadas de la PK, muchos usuarios finales aún no están familiarizados con este material y desconocen sus beneficios, por lo que es crucial promover su conocimiento y compartir con fabricantes y consumidores las ventajas que ofrece la PK.

En resumen, la PK se encuentra en un camino ascendente en términos de aceptación en el mercado, pero enfrenta desafíos significativos. Competir con materiales establecidos y lograr que más personas conozcan sus ventajas son aspectos cruciales para impulsar su crecimiento continuo. Con esfuerzos dirigidos a superar estos desafíos, la PK tiene el potencial de establecerse como una opción preferida en numerosas aplicaciones industriales.

## REFERENCIAS

- [1] Sommazzi, Anna; Garbassi, Fabio (1997). "Olefin-carbon monoxide copolymers". *Progress in Polymer Science*, v. 22, n. 8, p.p. 1547-1605. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(97\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(97)00009-9)

- [2] Zuiderduin, W. C.J.; Vlasveld, Daniël P.N.; Huëtink, J.; Gaymans, Reinoud J. (2004). "Mechanical properties of polyketone terpolymer/rubber blends". *Polymers*, v. 45, n. 11, p.p. 3765-3779. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2004.03.080>
- [3] Lagaron, Jose M.; Powell, Anthony K.; Davidson, Neil S. (2000). "Characterization of the Structure and Crystalline Polymorphism Present in Aliphatic Polyketones by Raman Spectroscopy". *Macromolecules*, v. 33, n. 3, p.p. 1030–1035. <https://doi.org/10.1021/ma990302p>
- [4] Jeon, Ikseong; Lee, Seung Woo; Jho, Jae Young (2019). "Compatibilizing Effect of Poly(methyl methacrylate-co-maleic anhydride) on the Morphology and Mechanical Properties of Polyketone/Polycarbonate Blends". *Macromolecular Research*, v. 27, n. 8, p.p. 821–826. <https://doi.org/10.1007/s13233-019-7108-2>
- [5] Kuzina, Svetlana I; Pivovarov, Anatoliy P.; Mikhaïlov, Alfa I.; Belov, Gennadiy P. (2000). "Free radicals and photo-oxidation of an alternating copolymer of ethylene and carbon monoxide". *European Polymer Journal*, v. 36, n. 5, p.p. 975-980. [https://doi.org/10.1016/S0014-3057\(99\)00161-5](https://doi.org/10.1016/S0014-3057(99)00161-5)
- [6] Hyosung Poketone. '2021 POKETONE™ TOP APPLICATIONS. <http://www.poketone.com/download/leaf-letKr/2021%20POKETONE%20TOP%20Applications.pdf>
- [7] PK – High-Performance Thermoplastic Polymer. <https://akro-plastic.com/compound-overview/polyketone/>
- [8] EOM, Doung. *LinkedIn*. [https://www.linkedin.com/posts/doug-eom-9a756536\\_poketone-polyketone-activity-7048631428724506624-xHMz?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/doug-eom-9a756536_poketone-polyketone-activity-7048631428724506624-xHMz?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)
- [9] EOM, Doung. *LinkedIn*. [https://www.linkedin.com/posts/doug-eom-9a756536\\_poketone-polyketone-activity-6963642233375903744-LlrT?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/doug-eom-9a756536_poketone-polyketone-activity-6963642233375903744-LlrT?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)
- [10] EOM, Doung. *LinkedIn*. [https://www.linkedin.com/posts/doug-eom-9a756536\\_poketone-pk-polyketone-activity-6937000510000349184-la-O?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/doug-eom-9a756536_poketone-pk-polyketone-activity-6937000510000349184-la-O?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)
- [11] EOM, Doung. *LinkedIn*. [https://www.linkedin.com/posts/doug-eom-9a756536\\_poketone-polyketone-activity-7069981309116305408-UqHd?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/doug-eom-9a756536_poketone-polyketone-activity-7069981309116305408-UqHd?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)
- [12] Aspen Media. *LinkedIn*. [https://www.linkedin.com/posts/aspen-brook\\_biotech-bio-pharma-bioprocess-activity-6947522758679420929-ELCy?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/aspen-brook_biotech-bio-pharma-bioprocess-activity-6947522758679420929-ELCy?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)
- [13] Rattanamethinphat, Thanarit. *LinkedIn*. [https://www.linkedin.com/posts/thanarit-rattanamethinphat-64530188\\_activity-7061697318714052609-QBZq/?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/thanarit-rattanamethinphat-64530188_activity-7061697318714052609-QBZq/?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)
- [14] Jung, DM. *LinkedIn*. [https://www.linkedin.com/posts/dm-jung-52a589160\\_i-am-happy-to-introduce-the-application-case-activity-6960392830334771200-fks3?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/dm-jung-52a589160_i-am-happy-to-introduce-the-application-case-activity-6960392830334771200-fks3?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)

## Estudio del efecto en la sensibilidad para discriminar colores del COVID y la exposición a pantallas

**Jordán Núñez, Jorge<sup>(1)</sup>, Moncho Santonja, María<sup>(2)</sup>, López Rodríguez, Daniel<sup>(3)</sup>, Micó Vicent, Bàrbara<sup>(1)</sup>, Peris Fajarnes, Guillermo<sup>(2)</sup>**

*(1) Departamento de Ingeniería gráfica, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n (Alcoy), jorjornu@upv.es, barmivi@upv.es*

*(2) Departamento de Ingeniería gráfica, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n (Valencia), monsan@topo.upv.es, gperis@dig.upv.es*

*(3) Departamento Textil y papelera, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, dalorod@upv.es*

### RESUMEN

La clasificación del color es una de las tareas más importantes dentro del sector textil y de muchas otras industrias. Existen herramientas para clasificar el color de alta precisión, pero no todos los sustratos son aptos para una medida precisa. Los humanos nacemos con una capacidad para clasificar el color que poco a poco va empeorando debido a los efectos de la edad y probablemente de algunos factores externos de los que todavía no somos del todo conscientes. En este trabajo se trata de averiguar si los efectos generados por haber pasado la enfermedad del Covid19, la exposición a distintos tipos de pantallas, o el tiempo de descanso diario pueden afectar a empeorar la clasificación subjetiva del color.

Para poner a prueba estos efectos se realizaron varios test normalizados a un grupo de personas en el que se comprueba la cantidad de fallos que realizan clasificando el color, y se tiene en cuenta una encuesta previa en la que se registran los datos correspondientes a los factores.

Finalmente se ha visto que el Covid19 parece no afectar a la clasificación y que el tiempo de descanso y la exposición a pantallas sí que pueden afectar.

**Palabras clave:** Covid19; color; clasificación; ANOVA; sueño; pantallas.

### INTRODUCCIÓN

La industria textil al igual que muchas otras emplea mucho material coloreado. Para las empresas es muy importante poder clasificar correctamente los colores para no mezclar ni contaminar material. Existen herramientas de precisión para medir el color como pueden ser los espectrofotómetros, pero no todos los sustratos son aptos para tener una medida fina. Por ejemplo los materiales tejidos o en fibra suelen presentar dificultades para tener una medida del color sólida. Suele ser necesario medir muchas veces y sacar una media para tener unos valores fiables. Debido a estas limitaciones las empresas suelen emplear patrones visuales para clasificar, de los que la carta PANTONE es la más reconocida, y aquí es donde entra la problemática a tratar en este trabajo. Los humanos nacemos con una capacidad para para clasificar el color que va empeorando con la edad. Creemos que también puede existir otros factores que pueden afectar a empeorar esta clasificación como puede ser el haber sufrido la enfermedad COVID19, la exposición prolongada a distintos tipos de pantallas (móvil, tabletas, pc,

tv), el tiempo de descanso diario, y como se comenta en algunos trabajos el género [1,2].

## OBJETIVOS

- Conocer cómo afecta haber sufrido el COVID19 al empeoramiento de la clasificación subjetiva de color.
- Analizar el efecto de la exposición prolongada a distintos tipos de pantallas como son los smartphones, tabletas, monitores de ordenador, y televisiones.
- Probar si es relevante el tiempo de descanso diario entendido como horas de sueño para el empeoramiento de la clasificación del color.
- Por último, dado que otros trabajos afirman que el género es relevante, siendo los hombres los que clasifican peor el color que las mujeres, también lo pondremos a prueba.

Estos son los objetivos planteados y a continuación se describirán los test y metodología empleados para conseguirlo.

## TEST

Se ha realizado un cuestionario y unos test a 50 personas de entre 21 y 35 años. De este grupo, 21 mujeres y 29 hombres. Se ha trabajado con este grupo porque son alumnos de prácticas en las asignaturas que los autores tienen docencia, no por unas características especiales. Este estudio podría completarse en un futuro con más personas e incluir personas con otros perfiles o edades.

En el cuestionario se recogía información de las siguientes variables: Edad, Género, si se ha padecido COVID19, tiempo de uso de smartphone diario, tiempo de uso de ordenador, tiempo de exposición a otros tipos de pantalla, y el tiempo de sueño del día anterior a la realización de los test. Toda esta tabla de datos se completaba con información de los resultados de los test que se practicaban a los encuestados. Esta captación de datos podría mejorarse o al menos reducir su tiempo de adquisición mediante una encuesta de Google o algún método similar.

Los test realizados a los encuestados son: Test de Ishihara en formato físico, Test de Ishihara online, Test de Farnsworth Munsell [3-5]. De estos test se tomaba el valor de fallos en la clasificación del color. Además, para los cálculos se aplicaba la raíz cuadrada de los errores de Farnsworth Munsell tal y como se describe en [5].

Los test de Ishihara online fueron realizados con una luz y monitor calibrados para el test.

## RESULTADOS

Lo primero que se realizó fue una matriz de correlación entre todas las variables cuantitativas que se habían contemplado, donde solo se observaron relaciones directas moderadas entre algunas variables, siendo los coeficientes de correlación entre  $[0,4 \leq r \leq 0,7]$ . Las variables que mostraban esta relación son: Minutos smartphone diarias Vs Total tiempo exposición diario a pantallas ( $r=0,49$ ); minutos PC diarios Vs Total tiempo exposición diario a pantallas ( $r=0,54$ ); minutos PC diarios Vs Errores Ishihara

físico ( $r=0,46$ ); minutos otras pantallas Vs Errores Farnsworth Munsell ( $r=0,40$ ); minutos otras pantallas Vs Total tiempo exposición diario a pantallas ( $r=0,45$ ); Errores Farnsworth Munsell Vs Total tiempo exposición diario a pantallas ( $r=0,46$ ); Errores Ishihara físico Vs Errores Ishihara online ( $r=0,44$ ). Todas estas relaciones son bastante débiles, pero puede que puedan servir en un futuro para modelizar. Además, podrían volverse a analizar segmentando los datos según el género para ver si alguno de los dos géneros es más propenso a la correlación entre variables.

A continuación se realizaron muchas pruebas ANOVA con el fin de detectar diferencias significativas en los factores COVID19, Género, Minutos Smartphone día, Minutos otros dispositivos, Minutos PC día, Vs Raíz de puntuación de errores de Farnsworth, errores Ishihara online, y errores Ishihara en test físico. Donde se observaron 2 tendencias que son que a mayor uso del PC diario se cometen más errores Ishihara online, y más errores Ishihara en el test físico. También se observó que los hombres tienen una mayor tendencia a realizar más errores en el test de Ishihara físico sin llegar a ser significativo. Estos resultados ya se habían visto en anteriores trabajos bibliográficos. De todos modos sería conveniente en una futura ampliación del estudio comprobar estos hechos con un número de muestra mayor y de otros perfiles y edades.

Por último, también se realizó una modelización para tratar de explicar el comportamiento de estas variables dependientes y tratar de predecir posibles resultados en base al perfil de las personas. Solamente se obtuvo un modelo válido y con un nivel razonablemente aceptable del 72,0% de ajuste. El modelo es el siguiente:

$$\text{Errores FM} = -8,135 + 1,144 * \text{Horas sueño}$$

En este modelo se trabaja la variable horas de sueño como cualitativa, y curiosamente los resultados muestran que las personas que descansan más horas tienden a generar más errores en el test de Farnsworth Munsell. El modelo cumple con todas las hipótesis para ser válido y se podría usar para hacer predicciones que se probarán en futuras ampliaciones del estudio.

## CONCLUSIONES

Con las pruebas realizadas no es posible afirmar que el COVID19 genere un empeoramiento de la clasificación subjetiva del color, al contrario que con otros sentidos como el olor o gusto que se resalta en bibliografía.

Los tiempos de exposición a pantallas que se han estudiado no han resultado ser significativos respecto al empeoramiento de la clasificación de color subjetiva, aunque sí que parece existir una tendencia a que mayor dedicación a las pantallas se cometen más errores en los test. Se observa un comportamiento excepcional respecto a la exposición a pantallas smartphone, en el cual las personas que dedican menos tiempo a los smartphone son las que más errores comente en el test de Ishihara online. El único hecho contrastado en el estudio respecto a los tiempos de exposición a pantallas tiene que ver con la exposición a pantallas de Pc, donde sí que es significativa la diferencia entre usar mucho el Pc Vs a realizar un uso medio o bajo. Las personas que más usan el Pc son las que comenten más errores en el test de Ishihara físico.

En trabajos de la bibliografía se afirma diferencias notables entre la clasificación de color subjetiva entre hombres y mujeres, de modo que las mujeres clasifican mejor el color. En este estudio no han aparecido estas diferencias en ninguno de los test de forma significativa, pero en el test de Ishihara físico está muy cerca de llegar a serlo con un

pvalor entre [0,05 ; 0,1]. Esta significatividad ya cabe ponerla en duda según muchos autores. La tendencia que se observa en este apartado es similar a la de la bibliografía donde las mujeres clasifican mejor el color.

Respecto al último apartado que se ha tratado en los resultados, se ha obtenido un modelo discriminante válido para predecir el comportamiento de los errores en el test de Farnsworth Munsell. Siendo el ajuste global del 72%. Este modelo mostro que las horas de sueño afectan de manera distinta a lo esperado, de manera que cuanto más horas de sueño, más errores se tiende a cometer. No se ha indagado más ampliamente en este aspecto, pero una posible explicación sería que dormir muchas horas (>10horas) puede entorpecer nuestra capacidad de clasificación. Hipótesis que no se ha comprobado y que puede formar parte de las futuras líneas de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Serra, G., Lo Scalzo, L., Giuffrè, M., Ferrara, P., & Corsello, G. (2021). "Smartphone use and addiction during the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: cohort study on 184 Italian children and adolescents". *Italian Journal of Pediatrics*, 47(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s13052-021-01102-8>
- [2] Priya, D. B., & Subramaniam, M. (2022). "Fatigue due to smartphone use? Investigating research trends and methods for analysing fatigue caused by extensive smartphone usage: A review". *Work*, 72(2). 637-650. [10.3233/WOR-205351](https://doi.org/10.3233/WOR-205351)
- [3] Paramei, G. V., & Griber, Y. A. (2023). "Colour discrimination in post-COVID-19 observers assessed by the Farnsworth-Munsell 100-Hue test". (PREPRINT). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2805658/v1>
- [4] Hardy, L. H., Rand, G., & Rittler, M. C. (1945). "Tests for the detection and analysis of color-blindness. I. The Ishihara test: an evaluation". *JOSA*, 35(4), 268-275.
- [5] Kinnear, P. R. (1970). Proposals for scoring and assessing the 100-hue test. *Vision research*, 10(5), 423-433. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(70\)90123-9](https://doi.org/10.1016/0042-6989(70)90123-9)

## Evaluación de agentes plastificantes derivados de fuentes naturales como modificadores en las características mecánicas de formulaciones de ácido poliláctico (PLA)

Tejada-Oliveros, R. <sup>(1)</sup>, Gazquez-Navarro, J. J. <sup>(1)</sup>, Gomez-Caturla, J. <sup>(1)</sup>, Ivorra-Martinez, J. <sup>(1)</sup>, Montanes, N. <sup>(1)</sup>

*(1) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales (DIMM), Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España: [rateol@epsa.upv.es](mailto:rateol@epsa.upv.es); [jogazna@epsa.upv.es](mailto:jogazna@epsa.upv.es), [jauqoca@epsa.upv.es](mailto:jauqoca@epsa.upv.es), [juaivmar@doctor.upv.es](mailto:juaivmar@doctor.upv.es), [nesmonmu@upvnet.upv.es](mailto:nesmonmu@upvnet.upv.es)*

### RESUMEN

En el presente trabajo se estudia la eficacia de varios terpenos de origen natural, citral, carvona y eucaliptol, como agentes plastificantes en formulaciones de ácido poliláctico (PLA) respetuosas con el medio ambiente. Para ello, se analizaron las propiedades mecánicas de las mezclas realizadas y se compararon con las propiedades obtenidas por el polímero matriz (PLA). Las formulaciones plastificadas de PLA, que contenían un porcentaje en peso del 20% de los distintos plastificantes, se mezclaron por fusión mediante una extrusora corrotante de doble husillo y, posteriormente, se procesaron mediante moldeo por inyección en probetas normalizadas para su caracterización mecánica. Los resultados obtenidos revelan que la incorporación de los distintos terpenos al polímero matriz, produjeron un notable efecto de plastificación en el PLA, mejorando notablemente las propiedades dúctiles, en concreto el alargamiento a la rotura y la resistencia al impacto. Por lo tanto, queda demostrada la efectividad de dichos terpenos como una alternativa sostenible a los plastificantes convencionales derivados de fuentes fósiles con el que obtener formulaciones de PLA con ductilidad mejorada.

**Palabras clave:** ácido poliláctico; plastificantes naturales; terpenos; propiedades mecánicas.

### INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de creciente preocupación por la contaminación causada por los plásticos, la búsqueda de alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente se ha vuelto fundamental. Uno de los materiales que ha ganado atención en este sentido es el PLA (ácido poliláctico), que se obtiene a partir de fuentes renovables como el maíz o la caña de azúcar. El PLA se considera biodegradable y compostable, lo que lo convierte en una opción prometedora para reducir la acumulación de residuos plásticos en el medio ambiente [1].

Sin embargo, a pesar de sus ventajas, el PLA también presenta limitaciones en términos de sus propiedades mecánicas, como la rigidez y la fragilidad. Para superar estas limitaciones y mejorar su rendimiento, se han realizado investigaciones en la modificación del PLA mediante la adición de terpenos, compuestos naturales presentes en plantas. Estos terpenos han mostrado propiedades interesantes y pueden influir en las propiedades mecánicas del PLA, permitiendo obtener materiales con características más versátiles y adaptadas a diversas aplicaciones [2].

En esta investigación, se analizaron y compararon las propiedades de tracción y resistencia al impacto de las formulaciones de PLA modificado con los terpenos de carvona, citral y eucaliptol.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es evaluar cómo la incorporación de varios terpenos (carvona, citral y eucaliptol) afecta a las propiedades mecánicas del PLA y determinar si pueden convertirse en potenciales agentes plastificantes ambientalmente sostenibles para el ácido poliláctico (PLA) con el que obtener materiales con propiedades mejoradas en comparación con el PLA convencional.

## PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

El PLA virgen (suministrado por Total Corbion), fué secado a 90 °C durante 4 horas en un deshumidificador MDEO (Industrial Marsé, Barcelona, España) para evitar la hidrólisis en el procesado debido a la humedad que pudiera contener el material. Posteriormente, se realizaron las distintas formulaciones y se introdujeron en una extrusora de doble husillo corrotante de Xplore Instruments BV (Sittard, Países Bajos), donde se mezclaron y homogeneizaron los diversos materiales, para finalmente introducirlos en una Inyectora IM 12 de Xplore Instruments BV (Sittard, Países Bajos), de donde se obtuvieron probetas normalizadas para los ensayos de tracción y de impacto (Charpy). El perfil de temperatura usado en la extrusión fue de 180 – 185 – 190°C desde la tolva hasta la boquilla, mientras que para el proceso de moldeo por inyección se usó una temperatura de 190°C. La tabla 1 muestra las diferentes composiciones utilizadas en este trabajo junto con su respectiva codificación.

**Tabla 1.** Composiciones según el contenido en peso (wt. %) de PLA y los distintos plastificantes

Muestras	Composición			
	PLA (wt. %)	Carvona (wt. %)	Citral (wt. %)	Eucaliptol (wt. %)
PLA	100	0	0	0
PLA/Carvona	80	20	0	0
PLA/Citral	80	0	20	0
PLA/Eucaliptol	80	0	0	20

## RESULTADOS

Los resultados obtenidos mediante las diversas técnicas de caracterización utilizadas en este trabajo se muestran en la tabla 2, donde se puede observar el potencial de los distintos plastificantes en la obtención de mejoras en las propiedades dúctiles, es decir, alargamiento a la rotura ( $\epsilon_b$ ) y resistencia a impacto.

El PLA puro arroja unos resultados de módulo elástico (E) y resistencia a tracción ( $\sigma$  máx.) de 3326 y 57,5 MPa, respectivamente. Por otra parte, el alargamiento a la rotura y la resistencia al impacto son relativamente bajos, con valores del 2,8% y 3,8 kJ/m<sup>2</sup>, lo que representa unas propiedades dúctiles reducidas, típicas de un polímero rígido y frágil [3].

**Tabla 2.** Listado de las propiedades mecánicas de las muestras. Módulo elástico (E), tensión máxima ( $\sigma$  máx.), alargamiento a la rotura ( $\epsilon_b$ ) y resistencia a impacto (Charpy).

Muestras	E (MPa)	$\sigma$ máx. (MPa)	$\epsilon_b$ (%)	Resistencia impacto (kJ/m <sup>2</sup> )
PLA	3326 $\pm$ 24	57,5 $\pm$ 2,2	2,8 $\pm$ 0,9	3,8 $\pm$ 0,3
PLA/Carvona	739 $\pm$ 19	18,2 $\pm$ 1,1	223,4 $\pm$ 6,3	nb
PLA/Citral	843 $\pm$ 27	20,6 $\pm$ 1,5	200,6 $\pm$ 4,1	nb
PLA/Eucaliptol	1483 $\pm$ 18	25,2 $\pm$ 1,7	211,1 $\pm$ 7,8	8,4 $\pm$ 0,1

\*nb= no-rotura.

Al añadir los distintos plastificantes, puede observarse una tendencia con respecto a las propiedades a tracción de las distintas formulaciones plastificadas. Por un lado, el módulo de elasticidad y tensión máxima caen notablemente mientras que la elongación hasta la rotura aumenta considerablemente. Por lo que, de manera general, puede vislumbrarse el efecto plastificante que ejercen los distintos terpenos a la matriz de PLA, ya que, unos valores altos en las propiedades dúctiles en detrimento a las propiedades a tracción son signos de que se ha podido conseguir un efecto de plastificación.

Observando en detalle los valores obtenidos, en cuanto al módulo de elasticidad se refiere, al añadir los agentes plastificantes dicho módulo disminuye hasta alcanzar un valor de 739 MPa para la mezcla PLA/Carvona, que supone una disminución del 78% con respecto al PLA puro. Mediante la adición de citral al PLA, los valores de módulo elástico aumentan ligeramente alcanzando un valor de 843 MPa con respecto a la mezcla con carvona, siendo la mezcla PLA/Eucaliptol la que mayor módulo elástico ofrece de entre las mezclas plastificadas, con un resultado de 1483 MPa, pero siendo un 55% menor que el obtenido por el PLA puro. Con respecto a la tensión máxima de rotura ( $\sigma$  máx.) puede observarse el mismo comportamiento que con el módulo elástico, es decir, de nuevo los valores de tensión máxima disminuyen drásticamente al añadir los distintos plastificantes, siendo la mezcla de PLA/Carvona la mezcla con menor tensión máxima (18 MPa), seguida del PLA/Citral con 20 MPa y PLA/Eucaliptol con un valor de unos 25 MPa. Por otro lado, en lo que respecta a la elongación a la rotura ( $\epsilon_b$ ), los valores obtenidos por las distintas mezclas son muy superiores al PLA puro (con un 2,8% de elongación). El PLA/Carvona exhibe la mayor capacidad de elongación con un valor de 223%. Le siguen el PLA/Eucaliptol con 211% y el PLA/Citral con 200%. Este drástico aumento en dicha propiedad puede ser provocado por el efecto plastificante que proveen los distintos terpenos al PLA, lo que promueve una mayor movilidad de las cadenas poliméricas provocando una mayor disipación de la energía de tracción [4].

En términos de resistencia al impacto, los valores recogidos en la tabla 2 muestran el comportamiento frágil del PLA puro, con un valor de 3,8 kJ/m<sup>2</sup>. En este caso, no se puede realizar una comparación directa de los valores de resistencia al impacto debido a que las muestras con carvona y citral no se rompieron. Sin embargo, se puede suponer que es una gran mejora en cuanto a la resistencia al impacto, ya que el valor del PLA/Eucaliptol, que ha sido el único que se ha podido obtener es de 8,4 kJ/m<sup>2</sup>, que

supone el doble del valor obtenido por el PLA virgen, por lo tanto, las muestras restantes deben de tener valores aún más altos, lo que confirma de nuevo el efecto plastificante que se ejerce sobre el PLA virgen, como han reportado otros autores utilizando otro tipo de terpenos [5].

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas confirman el potencial que poseen los distintos terpenos estudiados como alternativas ambientalmente sostenibles a los plastificantes petroquímicos convencionales en formulaciones de PLA. Además, cada formulación ofrece un conjunto único de características mecánicas, lo que permite su aplicación en diferentes contextos y sectores industriales. Estos datos proporcionan una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas en el campo de los materiales poliméricos sostenibles.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación forma parte de la beca PID2020-116496RB-C22, financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y la beca TED2021-131762A-I00 y por la Unión Europea "NextGenerationEU"/PRTR. Los autores también agradecen a la Generalitat Valenciana-GVA la financiación de esta investigación a través de los números de subvención AICO/2021/025 y CIGE/2021/094. J. Ivorra-Martínez quiere agradecer la subvención FPU19/01759 financiada por MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 y por el FSE Invierte en tu futuro. J. Gomez-Caturla quiere dar las gracias a FPU20/01732 beca financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por FSE Invierte en tu futuro. R. Tejada-Oliveros quiere agradecer a la Universitat Politècnica de València la subvención recibida a través del programa PAID-01-20.

## REFERENCIAS

- [1] Li;Zhao;Xu;Yang;Li;Meng, . . . Li. (2020). "Synthesis and biological application of polylactic acid". *Molecules*, v.25, n. 21, pp. 5023. <https://doi.org/10.3390/molecules25215023>
- [2] Mosquera;Jiménez;Tabernero;Vinueza-Vaca;García-Estrada;Kosalková, . . . Alonso. (2021). "Terpenes and Terpenoids: Building Blocks to Produce Biopolymers". *Sustainable Chemistry*, v.2, n. 3, pp. 467-492. <https://doi.org/10.3390/suschem2030026>
- [3] Chai;Chang;Zhang;Chen;Zhong;Zhang, . . . Mao. (2020). "The fabrication of polylactide/cellulose nanocomposites with enhanced crystallization and mechanical properties". *International journal of biological macromolecules*, v.155, n., pp. 1578-1588. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.135>
- [4] Paul;Fragouli;Bayer;Zych;Athanasios. (2021). "Effect of green plasticizer on the performance of microcrystalline cellulose/polylactic acid biocomposites". *ACS Applied Polymer Materials*, v.3, n. 6, pp. 3071-3081. <https://doi.org/10.1021/acsapm.1c00281>
- [5] Brüster;Adjoua;Dieden;Grysan;Federico;Berthé;Addiego. (2019). "Plasticization of polylactide with myrcene and limonene as bio-based plasticizers: Conventional vs. reactive extrusion". *Polymers*, v.11, n. 8, pp. 1363.

## Mejora de las propiedades dúctiles del PLA mediante plastificantes ecológicos de la familia de los tartratos y de los tocoferoles

JJ. Gazquez-Navarro<sup>(1)</sup>, V. Moreno<sup>(1)</sup>, R. Balart<sup>(1)</sup>, J. Ivorra-Martinez<sup>(1)</sup>,  
N. Montanes<sup>(1)</sup>

(1) Instituto de Tecnología de Materiales, Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España: [jogazna@epsa.upv.es](mailto:jogazna@epsa.upv.es), [vmorgar1@upvnet.upv.es](mailto:vmorgar1@upvnet.upv.es), [juaivmar@doctor.upv.es](mailto:juaivmar@doctor.upv.es), [rbalart@mcm.upv.es](mailto:rbalart@mcm.upv.es), [nesmonmu@upvnet.upv.es](mailto:nesmonmu@upvnet.upv.es)

### RESUMEN

El ácido poliláctico (PLA) presenta una fragilidad intrínseca que limita su uso en aplicaciones industriales que requieren flexibilidad y tenacidad. Con la finalidad de mejorar las propiedades dúctiles del PLA y desarrollar formulaciones sostenibles de polímeros, se emplean plastificantes ecológicos de la familia de los tartratos: diisopropil L-tartrato (DIPT) y dimetil L-tartrato (DMT); y de los tocoferoles: DL- $\alpha$ -tocoferol acetato (Toc.Ac.) y D- $\alpha$ -tocoferol succinato (Toc.Su.). Aditivando el PLA con un 20% en peso de los plastificantes de la familia de los tartratos, se consigue alargamientos a la rotura de más del 200%, disminuyendo la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) del PLA más del 40%. Y aditivando el PLA con un 20% de los plastificantes de la familia de los tocoferoles, se obtienen resultados muy diferentes. Ambos reducen la  $T_g$  del PLA más de un 10%, pero con el Toc.Ac. se obtiene un alargamiento a la rotura del 5,2%; y con el Toc.Su. un alargamiento a la rotura del 226,2%.

**Palabras clave:** ácido poliláctico, PLA, tartrato, tocoferol, biopolímero.

### INTRODUCCIÓN

El ácido poliláctico (PLA) es un biopolímero de gran interés en la actualidad ya que se obtiene completamente de fuentes renovables y es biodegradable, ofreciendo mayor resistencia mecánica que el polipropileno (PP) y el polietileno de tereftalato (PET). Sin embargo, sus propiedades dúctiles son muy pobres. Su alargamiento a la rotura se encuentra en torno al 5%. Por lo que su comportamiento frente a la fractura y a los impactos es frágil [1].

Una de las formas de disminuir este comportamiento frágil del PLA, y así mejorar las propiedades dúctiles es emplear plastificantes, que son sustancias que se añaden al polímero base para aumentar su alargamiento a la rotura y disminuir su temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) [2].

En este caso, se plantea la utilización de plastificantes ecológicos de la familia de los tartratos y de los tocoferoles. Los tartratos son derivados del ácido L-tartárico, un constituyente abundante en varias frutas como las uvas y los plátanos [3]. Los empleados en el proyecto son: diisopropil L-tartrato (DIPT) y dimetil L-tartrato (DMT).

Por otra parte, los tocoferoles, junto a los tocotrienoles, forman parte de la familia de la vitamina E. Actúan como antioxidantes eliminando radicales libres para interrumpir la propagación de la oxidación [4]. Los empleados en el proyecto son: DL- $\alpha$ -tocoferol acetato (Toc.Ac.) y D- $\alpha$ -tocoferol succinato (Toc.Su.).

Este trabajo de investigación tiene como objetivo obtener nuevas formulaciones de materiales poliméricos ecoeficientes mejorando las propiedades dúctiles del PLA.

## OBJETIVOS

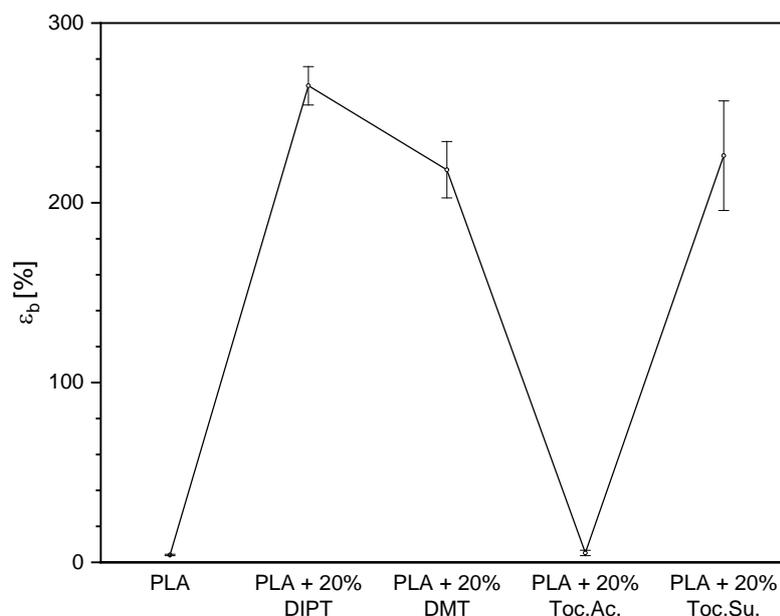
El objetivo principal es mejorar las propiedades dúctiles del PLA con el fin de utilizarlo en aplicaciones industriales que requieran flexibilidad y tenacidad. Para lograr este objetivo general, se establecen como objetivos particulares evaluar el alargamiento a la rotura y la temperatura de transición vítrea del PLA virgen, sin plastificante, y del PLA con cada uno de los plastificantes.

## PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Para determinar la cantidad de plastificante a emplear, se ha tomado como referencia las conclusiones de la investigación realizada por Gomez-Caturla et al, donde la composición óptima de plastificante de la familia de los tartratos (dietil L-tartrato) fue del 20% [5]. De este modo, las muestras de PLA con 20% en peso de plastificante se han procesado en una máquina Xplore 15HT siendo la extrusión a una temperatura de 180 °C y a 100 rpm; y la inyección a una temperatura de 190 °C y a una presión de 8 bar.

## RESULTADOS

El alargamiento a la rotura,  $\epsilon_b$ , del PLA virgen, sin plastificante, es de 4,1%. Cuando se añade al PLA un 20% de diisopropil L-tartrato, este valor aumenta llegando al 265,1%. Con la adición de un 20% de dimetil L-tartrato, también aumenta llegando al 218,4%. En el caso de la adición de un 20% de DL- $\alpha$ -tocoferol acetato, solo se alcanza el 5,2% de alargamiento a la rotura. Finalmente, con un 20% de D- $\alpha$ -tocoferol succinato, este parámetro aumenta llegando al 226,2%.

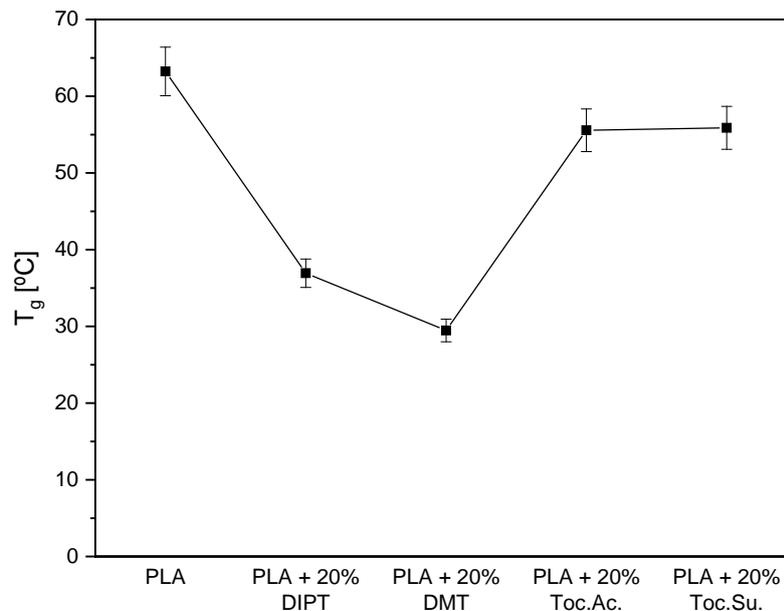


**Figura 1.** Alargamiento a la rotura,  $\epsilon_b$ , del PLA y de las formulaciones con plastificantes ecológicos.



**Figura 2.** Muestras tras la rotura. De arriba hacia abajo: la primera muestra es del PLA virgen, sin plastificante; la segunda muestra es del PLA + 20% DIPT; la tercera muestra es del PLA + 20% DMT; la cuarta muestra es del PLA + 20% Toco.Ac. y la quinta muestra es del PLA + 20% Toco.Su.

Por otro lado, la temperatura de transición vítrea,  $T_g$ , del PLA virgen, sin plastificante, es de 63,2 °C. La adición de un 20% de DIPT, disminuye la  $T_g$  un 41,6%, obteniendo un valor de 36,9 °C. Para la adición de un 20% de DMT, la  $T_g$  disminuye un 53,4%, al alcanzar un valor de 29,5 °C. En el caso de utilizar un 20% de Toco.Ac, el valor de  $T_g$  disminuye un 12,1%, ya que presenta un valor de 55,6 °C. Finalmente, con la adición de un 20% de Toco.Su., este parámetro disminuye un 11,6%, con un valor de 55,9 °C.



**Figura 3.** Temperatura de transición vítrea,  $T_g$ , del PLA y de las formulaciones con plastificantes ecológicos.

Teniendo en cuenta la importante limitación que presenta el biopolímero de PLA para aplicaciones técnicas debido a su intrínseca fragilidad, los resultados obtenidos en este trabajo ponen de manifiesto el interesante potencial que presentan como plastificantes tanto los derivados de tartratos: DIPT y DMT, así como los de tocoferoles: Toc.Ac. y Toc.Su. Al adicionar un 20% de estos aditivos, se consigue una adecuada plastificación del PLA, como lo corrobora la disminución de  $T_g$  y el importante aumento del valor del parámetro de alargamiento a la rotura. Estos aditivos de origen natural son una adecuada opción para sustituir plastificantes de origen petroquímico, permitiendo obtener un PLA plastificado mucho más ecoeficiente.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación forma parte de la beca PID2020-116496RB-C22, financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y de la beca TED2021-131762A-I00, financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea "NextGenerationEU"/PRTR. Los autores también agradecen a la Generalitat Valenciana-GVA la financiación de esta investigación a través de los números de subvención AICO/2021/025 y CIGE/2021/094. J. Ivorra-Martinez quiere agradecer la beca FPU19/01759 financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por ESF Investing in your future. Virginia Moreno quiere agradecer a la Generalitat Valenciana - GVA la financiación de una plaza posdoctoral a través del programa APOSTD cofinanciado por el FSE Invierte en tu futuro, beca número CIAPOS/2021/67. JJ. Gazquez-Navarro quiere agradecer a la Universitat Politècnica de València (UPV) la beca de colaboración tipo B número de referencia 20220044.

## REFERENCIAS

- [1] Kaygusuz, Burçin; and Sezer Özerinç; (2019). "Improving the ductility of polylactic acid parts produced by fused deposition modeling through polyhydroxyalkanoate additions", doi: 10.1002/app.48154.
- [2] Gradin, Per; Paul G. Howgate; Ragnar Seldén; and Richard A. Brown; "Dynamic-mechanical Properties," in *Comprehensive Polymer Science and Supplements*, Elsevier, pp. 533–569. doi: 10.1016/B978-0-08-096701-1.00053-7.
- [3] Izawa, Kunisuke; Yusuke Amino; Masanori Kohmura; Yoichi Ueda; and Motonaka Kuroda; "Human-environment interactions - taste," in *Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology*, vol. 4, Elsevier, pp. 631–671. doi: 10.1016/b978-008045382-8.00108-8.
- [4] Chew, Sook Chin; and Kar Lin Nyam; (2020). "Refining of edible oils." *Lipids Edible Oils Prop. Process. Appl.* pp. 213–241, doi: 10.1016/B978-0-12-817105-9.00006-9.
- [5] Gomez-Caturla, Jaume; *et al.*; (2023). "Improvement of Poly(lactide) Ductile Properties by Plasticization with Biobased Tartaric Acid Ester." *Macromol. Mater. Eng.* p. 2200694, doi: 10.1002/mame.202200694.

## El Camino Hacia un Urbanismo y Diseño Urbano Preparado para el 2030: Descubriendo el Proyecto Europeo UP2030

Tsertsvadze, Verónica<sup>(1)</sup>, Ammouriova, Majsa<sup>(2)</sup>, Soriano, Raquel<sup>(1)</sup>, Serrano, Julio César<sup>(1)</sup>, Pérez-Bernabeu, Elena<sup>(1)</sup>

(1) *Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell, s/n, 03801 Alcoy, (vtserts@epsa.upv.es, rsorgon@epsa.upv.es, jserrano@cigip.upv.es, elenapb@upv.es)*

(2) *Departamento de Ciencias de la Computación, Multimedia y Telecomunicaciones, Universitat Oberta de Catalunya, Rambla del Poblenou, 156, 08018 Barcelona, (mammouriova@uoc.edu)*

### RESUMEN

El proyecto UP2030 apoya la transición de las ciudades hacia la neutralidad climática mediante enfoques innovadores de planificación urbana y diseño. Su objetivo principal es desarrollar una metodología efectiva para que las ciudades se comprometan significativamente con la neutralidad climática. Esto implica actualizar la visión de las ciudades, mejorar habilidades en enfoques vanguardistas, realizar prototipos de mejoras y ampliar las acciones de neutralidad en toda la ciudad. El proyecto se enfoca en tres dominios clave: ciudades conectadas, compactas y con emisiones netas cero. Las ciudades participantes desarrollarán hojas de ruta de implementación y adaptarán herramientas existentes para acciones de prototipado en vecindarios seleccionados. El objetivo es lograr mejoras tangibles en la neutralidad climática a nivel de vecindario, con participación inclusiva y atención a la justicia espacial. Además, el proyecto busca ampliar las soluciones a nivel de toda la ciudad mediante arreglos de gobernanza adecuados, actualización de instrumentos de política y promoción de mecanismos de financiamiento relevantes. También se busca compartir las lecciones aprendidas y superar barreras de implementación, colaborando con la Misión y mostrando cómo las soluciones propuestas contribuyen a políticas y estrategias europeas.

**Palabras clave:** neutralidad climática, planificación urbana, innovación, participación.

### INTRODUCCIÓN

En respuesta a la creciente preocupación por el cambio climático, el proyecto UP2030 se ha destacado como una iniciativa líder en la construcción de ciudades sostenibles. Este proyecto ha desarrollado una amplia gama de herramientas y enfoques que desempeñan un papel fundamental en la transformación de los entornos urbanos. Estas herramientas se centran en el uso de datos y modelado para impulsar soluciones contextualizadas y evaluaciones de impacto de diseño, capturando los indicadores clave de rendimiento de cada visión de la ciudad.

Una de las herramientas empleadas es la simulación de microclima proporcionada por UCCRN, que permite evaluar el impacto de diferentes acciones climáticas en el entorno

urbano. Estas simulaciones ayudan a comprender cómo se adaptan y mitigan los efectos del cambio climático en áreas específicas, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones informadas. Otra área crucial abordada por el proyecto UP2030 es la evaluación de riesgos climáticos. Utilizando la herramienta de Evaluación de Riesgos Climáticos de DELTARES, se identifican las poblaciones urbanas más vulnerables al cambio climático en ciudades con escasez de datos. Estos resultados se integran en la herramienta de Planificación Resiliente al Clima de DELTARES, que busca opciones de soluciones basadas en la naturaleza y está siendo ampliada para incluir capacidades de mitigación. El proyecto UP2030 también emplea herramientas de análisis ambiental, como la interfaz de modelado urbano (UMI), que permite evaluar el rendimiento ambiental de barrios y ciudades. Además, el proyecto promueve la participación ciudadana a través de herramientas de mapas comunitarios de MfC (dNoses), que facilitan la colaboración y la co-creación de soluciones sostenibles. El proyecto UP2030 utiliza análisis multicriterio y herramientas de análisis de costos y beneficios para evaluar y comparar diferentes acciones de adaptación y mitigación. Estas herramientas permiten considerar diversos criterios y evaluar los beneficios y costos asociados a cada opción, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones informadas.

En resumen, el proyecto UP2030 se basa en un enfoque integral que combina herramientas de datos y modelado para promover la transformación hacia ciudades climáticamente neutrales. Estas herramientas respaldan la toma de decisiones fundamentada, facilitando la implementación de soluciones sostenibles y proporcionando una base sólida para el diseño y la planificación urbana del futuro.

## **OBJETIVOS**

UP2030 tiene como objetivo principal apoyar a las ciudades en la transición hacia la neutralidad climática, utilizando la planificación urbana y el diseño como herramientas clave. Los objetivos específicos del proyecto se detallan a continuación.

En primer lugar, el proyecto UP2030 busca involucrar a los diferentes actores de la ciudad en el mapeo de sus necesidades y evaluaciones iniciales. Esto permitirá co-diseñar visiones de neutralidad que estén alineadas con los valores de justicia, resiliencia, sostenibilidad y neutralidad. Además, se establecerán condiciones basales para comprender los sistemas sociales, económicos, de gobernanza y físicos de cada ciudad, así como sus inventarios de emisiones.

UP2030 apoyará a las ciudades en el desarrollo de hojas de ruta prácticas para traducir sus visiones en acciones concretas. Esto implicará la adaptación y evolución de herramientas y enfoques existentes para lograr la entrega efectiva de soluciones en vecindarios piloto seleccionados. Así mismo, UP2030 tiene como objetivo hacer que los vecindarios sean más habitables, inclusivos y equitativos a través de la transición hacia la neutralidad climática. Se personalizarán soluciones para abordar los desafíos específicos de cada vecindario piloto, considerando factores como la vulnerabilidad social o física a los peligros climáticos. Si bien el prototipado se llevará a cabo a escala de vecindario, UP2030 se centra en garantizar la ampliación de las soluciones a nivel de toda la ciudad. Se identificarán las barreras de gobernanza que dificultan la ampliación de las mejoras propuestas y se abordarán mediante la colaboración multilateral y multisectorial. Se fomentará la integración de políticas en diferentes

dominios y se respaldará con evidencia cuantitativa a través de un monitoreo sólido y una evaluación de los resultados obtenidos. Además, UP2030 buscará identificar y guiar a las ciudades en mecanismos de financiamiento relevantes que desbloqueen los recursos necesarios para la transición hacia la neutralidad climática.

Finalmente, UP2030 se compromete a compartir ampliamente las lecciones aprendidas y los mecanismos para superar las barreras de implementación. Se desarrollarán paquetes de replicación y transferibilidad que ofrecerán soluciones a ciudades fuera del proyecto. Además, se creará un programa de capacitación en "planificación urbana y diseño para ciudades climáticamente neutrales e inteligentes" que incluirá recursos de acceso abierto como legado del proyecto. UP2030 también buscará colaborar con otros proyectos y plataformas europeas para maximizar el impacto y garantizar la coherencia con las políticas y estrategias europeas pertinentes.

## RESULTADOS

Partiendo de los diferentes objetivos e intereses de las ciudades participantes, basados en una visión alineada con los valores de justicia, resiliencia, sostenibilidad y neutralidad, se ha llevado a cabo el establecimiento de un sistema de Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) personalizado con el propósito de evaluar y comparar el progreso en un periodo de tiempo determinado y cuantificar el impacto de las acciones implementadas, así mismo, determinar si se están logrando los objetivos planteados en el proyecto. En este sentido, la estructura sugerida ha sido el establecimiento de una serie de dimensiones, como pueden ser economía, medioambiente, sociedad y cultura, gobernanza y propagación; sub-dimensiones relacionadas con energía, infraestructura, escalabilidad, etc.; y categorías como es la calidad del aire, planificación urbana, involucración ciudadana, etc.

DIMENSION		SUB-DIMENSION		CATEGORY	
X	EC	E	Energy and Mitigation	X	AQ
X	EN	X	EH	B	B
X	SC	X	EN	C	C
X	GOV	X	I	D	D
X	PR	ICT	ICT	E	E
		P	Productivity	X	ED
		X	SH	X	EM
		X	MIO	X	EQ
		X	SR	ES	ES
				FS	FS
				H	H
				X	HO
				X	IN
				ICT	ICT
				PS	PS
				X	SA
				SI	SI
				X	T
				X	UP
				WA	WA
				WS	WS
				X	OR
				CI	CI
				X	MG
				X	RE
				X	SC

Figura 1. Estructura de la definición de KPIs

Una vez definida la estructura y obtenido el feedback por parte de los participantes, se han definido los KPIs específicos para cada una de las ciudades con el fin de medirlos y monitorearlos durante la evolución del proyecto.

Environment	Air Quality	Air Pollution	Air quality index (AQI) based on reported value for: Particulate matter (PM10 and PM2.5), nitrogen dioxide, sulphur dioxide, ozone.	Calculate as: Mass of pollutant collected (µg) / volume of air sampled (m3). Report as annual mean concentration for each pollutant.
		GHG Emissions	Greenhouse gas (GHG) emissions per capita	Calculate as: Total GHG emissions (Tonnes eCO2) / Total number of city inhabitants
	Environmental Quality	EMF Exposure	Percentage of mobile network antenna sites in compliance with WHO endorsed Electromagnetic Fields (EMF) exposure guidelines.	Calculate as: [Number of sites complying with WHO guidelines / Total number of sites] *100
		Noise Exposure	Percentage of city inhabitants exposed to excessive noise levels.	Calculate as: [Number of city inhabitants exposed to noise levels (L <sub>DEN</sub> [day-evening-night] over 55 dB(A) / Total city inhabitants] *100
	Energy	Renewable Energy Consumption	Percentage of renewable energy consumed in the city.	Calculate as: [Total consumption of electricity from renewable sources (kWh/yr)] / Total city electricity consumption (kWh/yr)] *100
		Electricity Consumption	Electricity consumption per capita	Calculate as: Total consumption of electricity (kWh / year) / Total number of city inhabitants.
		Fossil fuel	% of city's energy coming from fossil fuels	
Residential Thermal Energy Consumption		Residential thermal energy consumption per capita	Calculate as: Total consumption of thermal energy (t/year) / Total number of city inhabitants.	
	Public Building Energy Consumption	Annual energy consumption of public buildings.	Calculate as: Total energy consumption by public buildings (kWh/yr) / Total floor space of public buildings (m2)	
Society and Culture	Housing	Informal Settlements	Percentage of city inhabitants living in slums, informal settlements or inadequate housing.	Calculate as: [Number of people living in slums, informal settlements or inadequate housing / Total city inhabitants] *100
		social housing	the extent to which the government has supported the social housing	percentage of social housing expenditures to the total housing expenditures
		Expenditure on Housing	Percentage share of income expenditure for housing	Calculate as: [Expenditure on housing (USD) / Total household income (USD)] *100
	Social Inclusion	Social protection and inclusion, and social impact management for a just transition	Companies and organizations describe how they identify the impacts of the low-carbon transition on social protection and inclusion for workers and affected stakeholders and contribute to social protection and inclusion in the contexts in which they operate. Companies and organizations expect their business relationships to contribute to social protection and inclusion.	Yes / No.

Figura 2. Fragmento del listado de KPIs definidos para Granollers

## CONCLUSIONES

A modo de conclusión, dentro del proyecto UP2030 se ha establecido un sistema de Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) personalizados para cada ciudad participante, con el objetivo de medir y monitorear el progreso hacia la neutralidad climática. Los resultados obtenidos hasta ahora demuestran avances significativos en dimensiones como economía, medioambiente, sociedad y gobernanza. El enfoque integral basado en los KPIs ha respaldado la toma de decisiones informadas y el diseño de soluciones sostenibles, promoviendo la colaboración y el intercambio de conocimientos para maximizar el impacto del proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] *City Resilience Index - Arup.* (n.d.). Retrieved June 30, 2023, from <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/city-resilience-index>
- [2] *Selection of key performance indicators (KPIs) in the transition towards low-carbon urban communities.* (n.d.). Retrieved June 30, 2023, from [https://www.eceee.org/library/conference\\_proceedings/eceee\\_Summer\\_Studies/2019/5-smart-and-sustainable-communities/selection-of-key-performance-indicators-kpis-in-the-transition-towards-low-carbon-urban-communities/](https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2019/5-smart-and-sustainable-communities/selection-of-key-performance-indicators-kpis-in-the-transition-towards-low-carbon-urban-communities/)
- [3] *SMART ZERO CARBON CITY READINESS LEVEL: SISTEMA DE... - REVISTA DE INGENIERIA DYNA.* (n.d.). Retrieved June 30, 2023, from <https://www.revistadyna.com/busqueda/smart-zero-carbon-city-readiness-level-sistema-de-indicadores-para-diagnostico-de-ciudades-en-su-cam>
- [4] Smiciklas, J. (n.d.). *Collection Methodology for Key Performance Indicators for Smart Sustainable Cities United Smart Sustainable Cities 4 Montevideo Office Collection Methodology for Key Performance Indicators for Smart Sustainable Cities ii Foreword.*
- [5] *World Benchmarking Alliance Just Transition Methodology.* (2021).

## Revisión de la aplicación del método de mínimos cuadrados parciales para el estudio de la eco-innovación

Díez-Martínez, Inés <sup>(1)</sup>, Peiró-Signes, Ángel <sup>(1)</sup>

(1) *Departamento de Organización de Empresas, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n, 46022, Valencia, España, indiemar@doctor.upv.es, anpeisig@omp.upv.es*

### RESUMEN

Este estudio se centra en el análisis del uso del modelado con mínimos cuadrados parciales (PLS – *partial least squares*) para entender cuál es su potencial aplicación de cara a analizar los desencadenantes de la eco-innovación en las empresas. El modelado con mínimos cuadrados parciales es una técnica estadística multivariable que se basa en un algoritmo de mínimos cuadrados y se emplea de forma generalizada en el ámbito académico para analizar cuáles son las relaciones entre uno o más conjuntos de variables. Los resultados muestran que el método PLS se emplea para el estudio de la eco-innovación en una amplia diversidad de sectores y regiones. Entre las aplicaciones se encuentra que el modelado con PLS se ha empleado para estudiar varios factores relacionados con la integración de prácticas eco-innovadoras de las empresas entre los que se encuentran la cultura corporativa, la orientación comercial, o la presión del consumidor, entre otros. Queda determinado que la técnica PLS está aceptada en el ámbito académico para el estudio de la eco-innovación, presentando ventajas de cara a su aplicación con respecto a otros métodos, así como ciertos inconvenientes.

**Palabras clave:** eco-innovación, innovación verde, mínimos cuadrados parciales, PLS, modelado con ecuaciones estructurales, SEM

### INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la sostenibilidad es un elemento en el punto de mira de la gran mayoría de los agentes de mercado. En términos generales, la integración de la sostenibilidad es compleja, y se presentan factores desencadenantes tanto externos como internos a la empresa [1]. En la revisión de la literatura se encuentran diferentes resultados sobre la importancia de los diferentes factores desencadenantes de la integración de prácticas sostenibles en los modelos de negocio. Por ejemplo, tal y como presentan Rauter, Jonker y Baumgartner [1], sus resultados difieren de otros resultados obtenidos por estudios similares. Dependiendo del volumen de datos estudiado, las variables que se han tenido en cuenta, y la metodología empleada, los resultados de investigación varían. En este contexto, es relevante entender la función de las diferentes metodologías y cómo se han de emplear para el estudio de variables que potencialmente puedan contribuir como desencadenantes de la eco-innovación o innovación verde en empresas. Este estudio se centra en entender el uso de métodos PLS.

### OBJETIVOS

Esta comunicación tiene como objetivo analizar el uso del modelado con mínimos cuadrados parciales en el campo de estudio relativo a los agentes desencadenantes de

la eco-innovación en las empresas. En primer lugar, el artículo se centra en detallar las características generales de la metodología, así como las aplicaciones para las que se emplean. A partir de esta información, se analiza cómo se pueden aplicar esta metodología en el ámbito del estudio de los desencadenantes de la eco-innovación.

## EL MÉTODO PLS

El modelado con mínimos cuadrados parciales (PLS - Partial Least Squares) es una técnica de modelado de ecuaciones estructurales (SEM - Structural Equation Modeling), la cual consiste en una técnica estadística multivariable que se basa en un algoritmo de mínimos cuadrados [2]. Como presentan Henseler, Ringle, y Sinkovics [3], este método se desarrolló por Wold [4]. El método PLS tiene como objetivo predecir un vector de variables  $\hat{y}$  (dependientes) a partir de un vector de variables  $\hat{x}$  (independientes), a partir de la matriz de covarianza  $\Sigma_{yx}$  en la cual se dispone de un número  $n$  muestras cada una con datos  $(y,x)$ . El objetivo de este método es entender qué información de  $\hat{x}$  es útil para predecir  $\hat{y}$ , y qué información de  $\hat{y}$  puede ser predicha a partir de  $\hat{x}$  [5] donde la predicción lineal óptima se realiza a partir de una matriz [H] que es el resultado de la matriz de covarianza por la inversa de la varianza de  $x$ :

$$\hat{y} = H \cdot \hat{x} = \Sigma_{yx} \Sigma_x^{-1} \cdot \hat{x} [5]$$

Donde se han escalado las variables a predecir para que los valores cuadráticos tengan un significado comparable, y se han escalado las variables de información, buscando aquellos componentes que no están correlados entre sí en  $x$ .

## RESULTADOS

Se ha empleado la base de datos Scopus para realizar la búsqueda. Los resultados de Scopus muestran que las técnicas PLS se emplean para estudiar la eco-innovación<sup>3</sup>, centrándose en las relaciones entre la innovación medioambiental y otras características asociadas a las empresas. Se han encontrado 33 resultados, que como se muestran en la Figura 1, están distribuidos a lo largo del tiempo (primer resultado en 2014, y el mayor número de publicaciones se produce este año, en 2023) y en diferentes regiones (destacando China, seguido de España y Malasia). Entre estos resultados, existen únicamente seis instituciones con al menos 2 publicaciones relacionadas (Universiti Sains Malaysia, Dalian University of Technology, Universitat Politècnica de València, Syddansk Universitet, Brawijaya University y, Graduate School of Business).

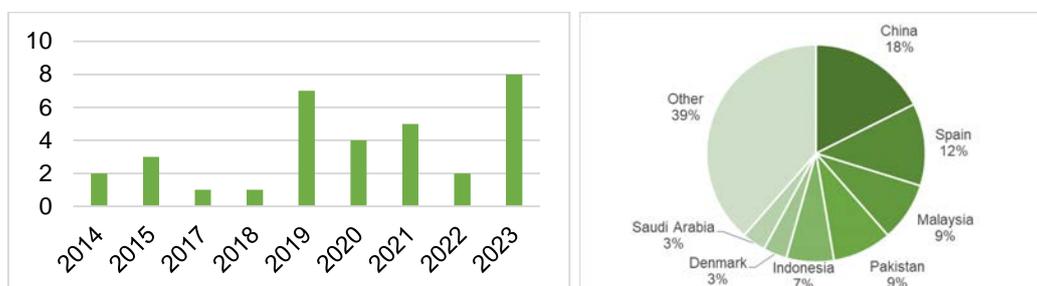


Figura 1. Distribución de los resultados por año y país

<sup>3</sup> Búsqueda por palabras clave: KEY (eco-innovation AND PLS) OR KEY (green AND innovation AND PLS)

Las publicaciones se incluyen principalmente las revistas que se muestran en la Tabla 1. Prácticamente un tercio de las publicaciones relacionadas con el estudio de la eco-innovación a partir de PLS se concentran en tres revistas. Existen otras fuentes como por ejemplo: *Agronomy*, *Applied Mechanics and Materials*, *Clean Technologies and Environmental Policy*, *Construction Innovation* etc. pero los resultados muestran únicamente una publicación relacionada con este objeto de estudio. Entre las áreas de estudio destacan las áreas de: *business management and accounting*, *environmental science y engineering*.

**Tabla 1.** Principales revistas publicando estudios de la eco-innovación con técnicas de PLS.

Título de la fuente	Número de artículos
Sustainability (Switzerland)	4
Business Strategy and the Environment	3
Journal of Cleaner Production	3

Estudiando en detalle el uso para el empleo de técnicas PLS en los tres artículos más citados [6, 7, 8] se encuentra que efectivamente, las técnicas PLS se emplean para entender las relaciones que existen entre las variables, y en cómo predecir un resultado a partir de cierta información disponible a través de cuestionarios sobre las empresas, mostrando unos ejemplos de uso en la Tabla 2. Los análisis realizados por otros autores muestran que PLS se emplea para estudiar conceptos complejos, y las variables pueden ser formativas o reflectivas, con diferentes direcciones de causalidad. En términos generales, los resultados muestran que, empleando técnicas PLS, se pueden analizar tanto variables mediadoras (variables que buscan explicar el mecanismo a partir del cual ocurre el efecto, que, por ejemplo, buscan explicar el mecanismo que hace que las empresas tengan un buen desempeño ambiental) como moderadoras (que son aquellas variables que cambiarían el efecto que las variables independientes tienen sobre las variables dependientes), aplicadas al estudio de la eco-innovación. También se observa que los análisis realizados con PLS incluyen el estudio otros elementos, analizando el modelo más allá de la fuerza de las relaciones causales, incluyendo, por ejemplo, el coeficiente de determinación, que se relaciona con la calidad explicativa del modelo, o la relevancia predictiva, que se relaciona con capacidad del modelo para predecir.

**Tabla 2.** Ejemplos de uso.

Ejemplo de uso	Empleo de PLS
Fernando et al. [6] 279 citas	Se analizan los cuestionarios de 95 empresas usando PLS, empleando la herramienta SmartPLS. Se estudiaron 5 dimensiones como variable independiente (coordinación multifuncional, regulación, enfoque de mercado, participación del proveedor y tecnología), se incluyó una variable mediadora (capacidad de innovación del servicio) y tres dimensiones de la variable dependiente: desempeño (económico, ambiental y social).
Zailani et al. [7] 254 citas	Se analizan los cuestionarios de 153 empresas automovilísticas usando PLS, también a partir de SmartPLS. Se estudia qué variables tienen un efecto positivo para “predecir” que las empresas integren iniciativas de innovación verde, incluyendo: regulaciones ambientales, demanda del mercado e iniciativas internas. También se analiza cómo las iniciativas de innovación verde influyen en el desempeño sostenible (económico, ambiental y social).
Shahzad et al. [8] 173 citas	Se analizan los cuestionarios de 282 empresas de fabricación usando PLS, empleando SmartPLS. Se investiga qué dimensiones de CSR: empleados, comunidad, medio ambiente y consumidor, son más influyentes hacia el desarrollo medioambiental sostenible.

## CONCLUSIONES

PLS es una técnica que se emplea en la actualidad para estudiar qué factores influyen en la eco-innovación, típicamente empleando datos de cuestionarios que contienen otros factores internos y externos a las empresas. Por tanto, el uso de esta metodología está alineado con lo que otros investigadores han realizado en el campo del estudio de la eco-innovación en el contexto de la predicción de variables dependientes a partir de un conjunto de información o variables independientes. Respecto al uso de esta metodología se encuentran varios pros y contras. Entre las ventajas, destaca que se trata de una técnica que no requiere que las variables sean normales, que permite variables tanto reflectivas como formativas, así como el análisis de conceptos complejos (constructos no medibles directamente). Además, PLS se puede usar con tamaños de muestra más pequeños que otras técnicas SEM basadas en covarianza. Finalmente, PLS permite testear fácilmente moderaciones y mediaciones. Respecto a los contras, uno de ellos es que las relaciones de significancia son muy dependientes del tamaño de la muestra. Aunque se pueden emplear variables como el coeficiente de determinación, que mide lo bien que un modelo de regresión se ajusta a los datos reales. Además, al ser una a regresión, se asumen relaciones simétricas entre variables, lo que no siempre ocurre en el mundo real. Por otro lado, puede ser difícil evaluar las interacciones entre diversas variables. En cualquier caso, para superar estos inconvenientes, el análisis de PLS se puede complementar con la aplicación de otras metodologías, como, por ejemplo, análisis QCA (qualitative comparative analysis) o técnicas de machine learning.

## REFERENCIAS

- [1] Rauter, Romana; Jonker, Jan; Baumgartner, Rupert J. (2017). "Going one's own way: drivers in developing business models for sustainability". *Journal of Cleaner Production*, v. 140, p.p. 144-154. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.104>
- [2] Henseler, Jörg. (2018). "Partial least squares path modeling: Quo vadis?". *Quality & Quantity*, v. 52, n. 1, p.p. 1-8. <https://doi.org/10.1007/s11135-018-0689-6>
- [3] Henseler, Jörg.; Ringle, Christian M.; Sinkovics, Rudolf R. (2009). "The use of partial least squares path modeling in international marketing". *New Challenges to International Marketing (Advances in International Marketing)*, v.20, p.p. 277-319.
- [4] Wold, Herman O. (1974). Causal flows with latent variables: Partings of the ways in the light of NIPALS modeling. *European Economic Review*, v. 5, n.1, p.p. 67-86.
- [5] Sala Piqueras, Antonio. Universitat Politècnica de València. "Mínimos cuadrados parciales PLS". <http://personales.upv.es/asala/DocenciaOnline/material/PLS.pdf>
- [6] Fernando, Yudi; Jabbour, Charbel Jose Chiappetta ; Wah, Wen-Xin (2019). "Pursuing green growth in technology firms through the connections between environmental innovation and sustainable business performance: Does service capability matter?". *Resources, Conservation and Recycling*, v. 141, p.p. 8-20, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.031>
- [7] Zailani, Suhaiza; Govindan, Kannan; Iranmanesh, Mohammad; Shaharudin, Mohd Rizaimy; Chong, Yia Sia (2015). "Green innovation adoption in automotive supply chain: the Malaysian case". *Journal of Cleaner Production*, v. 108 (Part A), p.p.1115-1122.
- [8] Shahzad, Mohsin; Qu, Ying; Javed, Saad Ahmed; Zafar, Abaid Ullah; Rehman, Saif Ur (2020) "Relation of environment sustainability to CSR and green innovation: A case of Pakistani manufacturing industry". *Journal of Cleaner Production*, v. 253, ref. 119938, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119938>

## Estudio comparativo de las concesiones económicas realizadas por la Generalitat Valenciana para las asociaciones sin ánimo de lucro durante el año 2022

**Blanes Nadal, Carolina R** <sup>(1)</sup>

*(1) Departamento de economía y ciencias sociales. Universitat Politècnica de València. Escuela Politécnica Superior de Alcoy. Plaza de Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi (Alicante) 03801, cablana@upvnet.upv.es*

### RESUMEN

Las asociaciones sin ánimo de lucro realizan un papel catalizador en la sociedad.

La agrupación de personas que la forman se une para llevar a cabo una actividad cuya finalidad no es el beneficio económico, sino fines sociales, humanitarios, artísticos o altruistas y prestar servicios de utilidad pública de manera local o nacional. A pesar de su desvinculación con el Estado, su trabajo es de naturaleza pública y su financiación así lo es.

En esta comunicación procedo a realizar un estudio comparativo de las concesiones económicas realizadas por la Generalitat Valenciana para estas entidades durante el año 2022. Y analizar los resultados económicos.

**Palabras clave:** Subvención, asociación sin ánimo de lucro, concesiones, cooperación, financiación.

### INTRODUCCIÓN

En primer lugar, hemos de definir que es una subvención, tal como nos indica el BOE en la ley 38/2003 de 17 de noviembre [1], como toda disposición dineraria realizada por las administraciones, en favor de personas públicas o privadas, que cumpla los siguientes requerimientos:

- a) Que la entrega se realice sin contraprestación directa de los beneficiarios.
- b) Que la entrega esté sujeta al cumplimiento de un determinado objetivo, la ejecución de un proyecto, la realización de una actividad, la adopción de un comportamiento singular, ya realizados o por desarrollar, o la concurrencia de una situación, debiendo el beneficiario cumplir las obligaciones materiales y formales que se hubieran establecido.
- c) Que el proyecto, la acción, conducta o situación financiada tenga por objeto el fomento de una actividad de utilidad pública o interés social o de promoción de una finalidad pública.

La publicación de las resoluciones de las concesiones de ayudas y subvenciones garantiza el derecho de la ciudadanía a conocer los recursos públicos que se dedican a la actividad de fomento y los beneficiarios de estos.

Es importante resaltar que las asociaciones sin ánimo de lucro sobreviven gracias a esta fuente de ingresos que vamos a analizar en la siguiente comunicación.

## OBJETIVOS

El principal objetivo de la siguiente comunicación es realizar un análisis comparativo de las cantidades económicas desembolsadas por la Generalitat Valenciana durante el año 2022 para las asociaciones y fundaciones sin ánimo de lucro de servicios sociales, así como, razonar los resultados atendiendo a los beneficiarios y los importes según el organismo competente.

## RESULTADOS

Durante el año 2022 se realizaron los siguientes aportes económicos por parte de la Generalitat Valenciana:

FECHA CONCESION	BENEFICIARIO	CIF	IMPORTE CONCEDIDO
07/12/20	ASOC SINDROME DE DOWN DE VALENCIA	"****9545*1	5.532,37
07/12/2022	ASOC PODEM	"****9409*11	12.863,44
21/06/2022	ASOC PODEM	"****9409*11	53.571,43
07/12/2022	ALCOHOLICOS REHABILITADOS ALAMEDA DE CASTELLON	"****3234*11	5.855,57
07/12/2022	ASOC PODEM	"****9409*11	12.863,44
31/05/2022	FUNDACION AMFI DE LA COM VALENCIANA	"****6609*11	2.467,74
29/12/2022	FAMILIARES DE PERSONAS CON ALZHEIMER TEULADA-MORAIRA	"****6846*11	6.000
29/12/2022	FAMILIARES DE PERSONAS CON ALZHEIMER TEULADA-MORAIRA	"****6846*11	6.000
31/05/2022	ASOCIACION ADIPSI	"****5830*11	83.482,85
24/08/2022	FUNDACION AMFI DE LA COM VALENCIANA	"****6609*11	7.009,97
20/06/2022	CONSORCIO COMARCAL DE SERVICIOS SOCIALES DE L,HORT	"****0102*11	2.059.327,70

Figura 1. Tabla de cantidades económicas concedidas por GVA [2]. Elaboración propia.

En esta primera tabla hemos volcado el CSV obtenido del recurso online [2] analizando una por una cada una según la fecha de concesión.

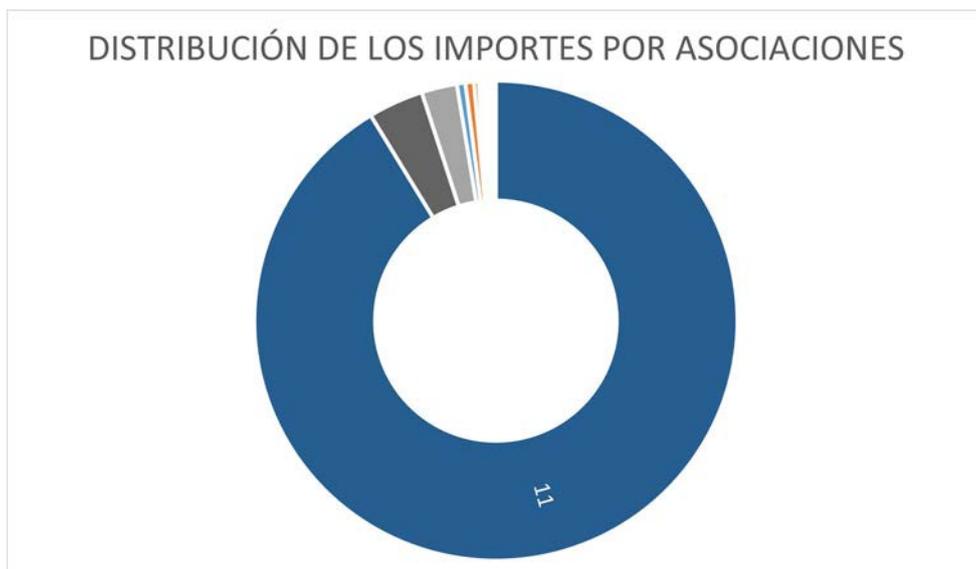


Figura 2. Gráfico de porcentajes [2]. Elaboración propia.

En esta segunda tabla hemos realizado un gráfico de porcentajes a partir del recurso online [2], donde podemos analizar qué Servicios Sociales l'Hort y Asociación Podem ocupan la mayoría de la superficie.

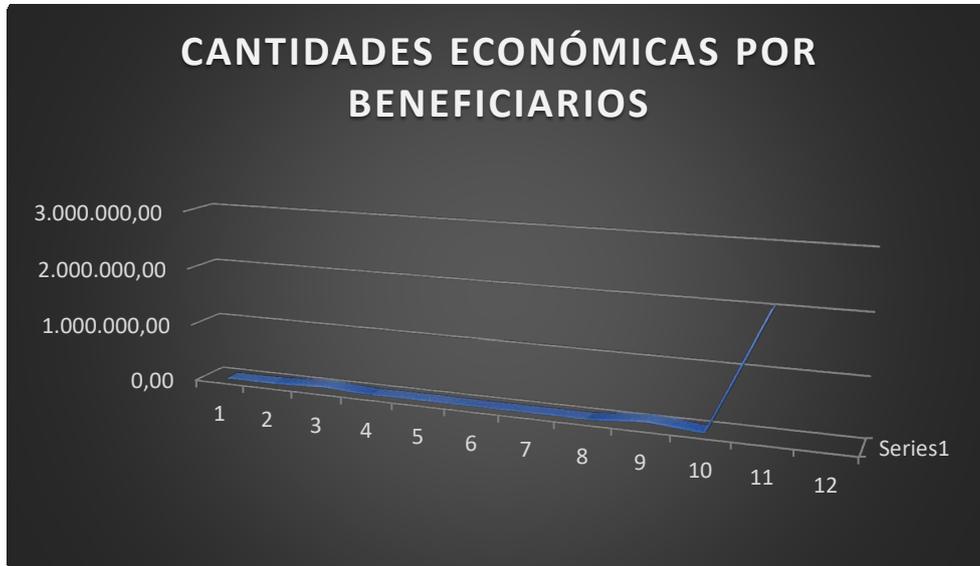


Figura 3. Gráfico por beneficiarios [2]. Elaboración propia.

En esta tercera tabla hemos realizado un gráfico por beneficiarios a partir del recurso online [2] comprobando que la concedida por el Consorcio Comarcal de Servicios Sociales l'Hort en el puesto onceavo consigue más del 90 por cien del total.

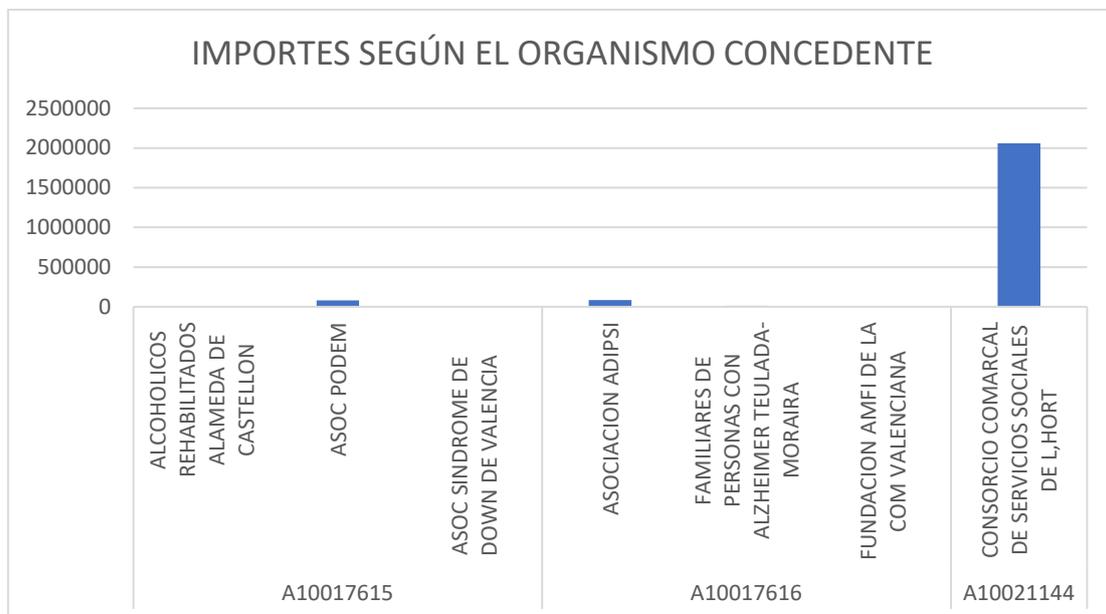


Figura 4. Tabla de Organismos concedentes de las subvenciones [2]. Elaboración propia.

En esta cuarta tabla hemos realizado un gráfico atendiendo al Organismo Concedente, a partir del recurso online [2], comprobando que el NIF A10021144 resulta el que ha conseguido un total de 2.059.327,7 euros, siendo significativo este resultado respecto al resto.

## CONCLUSIONES

Con la realización de este trabajo, realizamos una investigación abierta en el buscador de la Generalitat Valenciana.

Nos planteábamos inicialmente indagar en los antecedentes y las cantidades económicas asignadas por la administración autonómica en las entidades sin ánimo de lucro de la Generalitat Valenciana con el fin de mostrar una visión global de las mismas.

Por ello decidimos abordar el estudio de los distintos aspectos realizando un análisis comparativo de todas y así poder abordar los distintos aspectos que han influido y determinado el proceso.

De esta pequeña investigación de mercados realizada podemos concluir con que la mayor parte de la subvención se la lleva el Consorcio Comarcal de Servicios de l'Hort con una cuantía 2.059.327,7 esto supone casi un 90 por ciento del total del dinero distribuido entre las once entidades que cumplen con los requisitos.

Por todo ello, simplemente concluimos indicando la importancia de analizar los requisitos para poder tener acceso a estas cuantías económicas y poder garantizar la supervivencia de estas agrupaciones de personas tan necesarias para garantizar el fin público y poder llegar a aquellos colectivos donde el Estado no alcanza.

## REFERENCIAS

- [1] Jefatura del Estado. *Ley 38/2003, de 17 de noviembre, General de Subvenciones.* <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-20977>
- [2] Generalitat Valenciana. *Subvenciones y periodo medio de pago de la administración de la GVA.* <https://gvaoberta.gva.es/es/a-beneficiarios-de-subvenciones>

## Heurísticas para la resolución de un problema de secuenciación de movimientos de la grúa de un patio de contenedores en una terminal portuaria

Villa, Fulgencia<sup>(1)</sup>, Hongtao, Wang<sup>(1)</sup>, Vallada, Eva<sup>(1)(2)</sup>, Ruiz, Rubén<sup>(1)</sup>

(1) Grupo de Sistemas de Optimización Aplicada, Instituto Tecnológico de Informática, Ciudad Politécnica de la Innovación, edificio 8G, Acc. B.

Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46021, Valencia, España  
mfuvilju@eio.upv.es, htwang.upv@gmail.com, evallada@eio.upv.es, rruiz@eio.upv.es

(2) Senior Research Fellow at ValgrAI

### RESUMEN

La actividad en una terminal portuaria implica gestionar, tanto los contenedores que llegan tanto por mar como por tierra, como aquellos que deben salir por vía marítima o por vía terrestre. Los contenedores que llegan por mar o por tierra deben ser almacenados transitoriamente en una zona denominada patio (*yard*). Para mover los contenedores en esta zona se dispone de una grúa de patio (*yard crane*). Es necesario determinar en qué orden las peticiones de almacenamiento o retirada de contenedores deben realizarse para que la terminal funcione de la forma más eficiente. Esto implica definir los movimientos que la grúa debe realizar para satisfacer las peticiones. Este problema pertenece al campo del *scheduling* y se identifica como *yard crane scheduling problem* (YCSP). Este trabajo muestra las particularidades del problema y propone un algoritmo heurístico para resolverlo.

**Palabras clave:** secuenciación, heurísticas, terminal portuaria, contenedores.

### INTRODUCCIÓN

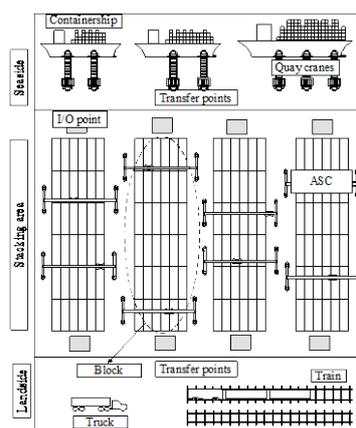
El transporte marítimo juega un papel fundamental hoy en día en las transacciones comerciales a nivel mundial, moviendo alrededor de 900 millones de contenedores en 2021. Uno de los principales cuellos de botella en la logística portuaria es la gestión del patio de contenedores, formado por bloques de contenedores que tienen que entrar/salir del puerto utilizando una o varias grúas situadas en el bloque. La secuenciación de los movimientos de la grúa del patio de contenedores es un problema de optimización estudiado en la literatura de investigación operativa, conocido como *Yard Crane Scheduling Problem* (YCSP).

### OBJETIVOS

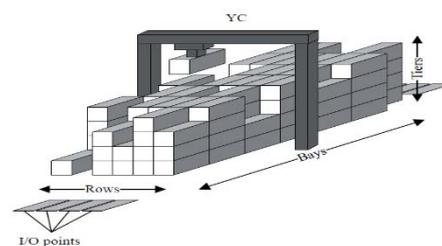
El objetivo principal de este trabajo es describir el problema de secuenciar los movimientos de la grúa del patio de contenedores de una terminal con configuración europea y proponer una regla heurística para su resolución. Se realizará también un estudio computacional mostrando los resultados obtenidos.

## DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El YCSP consiste en secuenciar los movimientos de una grúa de patio para procesar una serie de peticiones de contenedores, que pueden ser para almacenar en el patio o para extraer del patio. La Figura 1a. muestra la configuración de una terminal de contenedores con configuración europea. La terminal está formada por tres partes: el lado de mar (*seaside*) por donde llegan los barcos para descargar o cargar contenedores, el lado de tierra (*landside*) por donde salen o entran los contenedores a la terminal y una parte central denominada patio de contenedores (*yard*) que conecta ambos lados. Hay que señalar que los contenedores que llegan por mar (o tierra) deben almacenarse transitoriamente en esta zona antes de salir por el lado contrario. El patio está organizado en bloques de contenedores, en la figura 1a. se observa un patio con cuatro bloques para apilar contenedores. A ambos lados de cada bloque hay una serie de puntos de entrada/salida (*I/O points*) donde se depositan (recogen) los contenedores para sacarlos (almacenarlos) en el bloque. La Figura 1b. muestra que un bloque está formado por  $R$  filas (*rows*),  $B$  columnas o bahías (*bays*) y  $T$  alturas (*tiers*). Además, muestra una posible grúa de patio (YC) que se encarga de sacar o almacenar los contenedores dentro del bloque.



**Figura 1a.** Configuración europea terminal de contenedores



**Figura 1b.** Estructura de un bloque de contenedores

Los contenedores pueden clasificarse en 4 tipos según las operaciones que impliquen:

- Tipo C1 (*Sea to Yard*): son contenedores que llegan en barco al puerto y tienen que ser almacenados en el patio de contenedores.
- Tipo C2 (*Land to Yard*): son contenedores que llegan en camión o tren al puerto y tienen que ser almacenados en el patio de contenedores.
- Tipo C3 (*Yard to Sea*): son contenedores que están dentro del bloque en una posición conocida y tienen que ser extraídos para cargarlos en el barco.
- Tipo C4 (*Yard to Land*): igual que el C3 pero son cargados en camiones o trenes.

Todos los contenedores necesitan pasar por un punto de entrada/salida, donde la grúa deposita o recoge al mismo. Para los contenedores tipo C1 y C2 la posición en la que tienen que ser almacenados en el patio es conocida y tienen asociada una fecha de llegada también conocida, denotada como  $r_c$ . Los contenedores tipo C3 tienen asociada una fecha de salida, denotada como  $d_c$  y los contenedores tipo C4 tienen una fecha de

llegada de camión/tren denotada como  $e_c$ . Las localizaciones o posiciones dentro del patio de contenedores vienen denotadas por coordenadas  $(x,y,z)$ , que hacen alusión a la fila, bahía y altura dentro del patio. El objetivo es encontrar la secuencia de contenedores y la asignación a los puntos de entrada/salida que minimice el retraso total ponderado de los movimientos de la grúa. Todos los contenedores tienen asociado un peso según el tipo y otro peso relacionado con la congestión en los puntos de entrada/salida, es decir, si todos los puntos de entrada/salida están ocupados y el contenedor tiene que esperar, habrá una penalización.

La Figura 2 ilustra el flujo de movimientos de la grúa y el cálculo de tiempos. Denotamos  $Ini$  como la posición inicial de la grúa,  $O_c$  y  $O_{c'}$  como el origen de los contenedores  $c$  y  $c'$ ,  $D_c$  y  $D_{c'}$  como el destino de los contenedores  $c$  y  $c'$  y  $t_{ij}$  como el tiempo que tarda la grúa en ir desde una posición  $i$  a una  $j$ . A través del flujo de las flechas se pueden observar los movimientos de la grúa, que se desplaza desde orígenes a destinos, incluyendo las subidas y bajadas para recoger/depositar el contenedor.

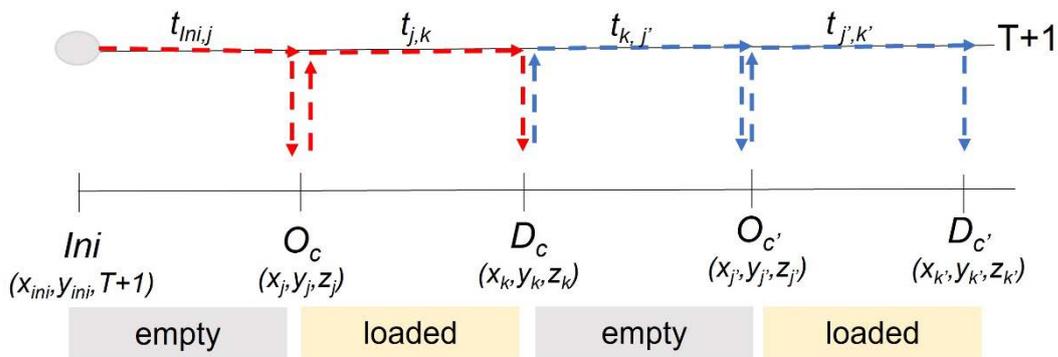


Figura 2. Movimientos de la grúa para dos peticiones de contenedores

## RESULTADOS

El problema a resolver consta de dos decisiones: la primera es obtener la secuencia de contenedores, la segunda la asignación de puntos de entrada/salida para los contenedores de acuerdo a la secuencia.

En este trabajo se propone una regla heurística, denotada como SETR para abordar el problema en dos fases, una para cada decisión.

En la primera fase, la secuencia se obtiene de acuerdo a una regla basada en los tiempos de finalización de la grúa para cada movimiento y los pesos que tiene cada tipo de contenedor.

Una vez se obtiene la secuencia, se pasa a la fase de asignación de puntos de entrada/salida. Se asigna el mejor punto de entrada/salida de los que estén disponibles, entendiendo como mejor aquel que minimice el tiempo total de movimientos de la grúa.

Para realizar las pruebas computacionales, se utilizan instancias generadas de igual manera que las propuestas en [2]. El conjunto de instancias está dividido en 3 subconjuntos: pequeñas, con 5 y 10 contenedores, medianas, con 15, 20, 30 y 40 contenedores y grandes, con 50, 100, 150 y 200 contenedores. Además, se considera un bloque donde  $R = 10$  filas,  $B = 42$  bahías y  $T = 4$  alturas. Se contará con 10 puntos de entrada/salida en la zona de mar y 6 puntos de entrada/salida en la zona de tierra. En total, 144 instancias para la ejecución de la regla propuesta (SETR), que se compara

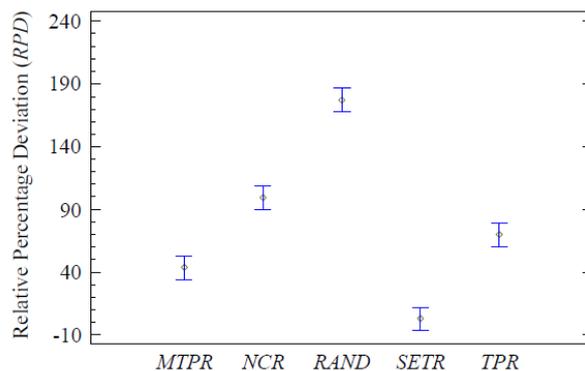
con las heurísticas propuestas en [1], denotadas como TPR, MTPR y NCR, y con una regla aleatoria (RAND).

Como medida de eficacia para comparar los métodos, se utiliza la desviación porcentual (RPD), mediante la siguiente expresión:

$$RPD = \frac{Method_{sol} - Best_{sol}}{Best_{sol}} \cdot 100$$

Donde  $Method_{sol}$  es la solución obtenida con la regla para una instancia dada y  $Best_{sol}$  es la mejor solución conocida para dicha instancia.

Se aplica un análisis de la varianza (ANOVA) donde la variable dependiente es RPD. En la Figura 3 podemos ver el gráfico de medias con intervalos HSD de Tukey a un 95% de confianza. Se observa que la heurística propuesta SETR muestra un mejor funcionamiento (RPD menor), siendo además esas diferencias estadísticamente significativas al no solaparse el intervalo con ninguno del resto. Respecto a la regla Random (RAND) se observa que es la que tiene un peor comportamiento.



**Figura 3.** Gráfico de medias con intervalos HSD de Tukey al 95% de confianza para las reglas heurísticas

## CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado un problema real de logística portuaria, la secuenciación de los movimientos de la grúa de patio en un bloque de contenedores de una terminal portuaria. Se propone una regla heurística para su resolución, comparando los resultados con otras reglas disponibles en la literatura. Se realiza un estudio computacional y la conclusión es que la regla propuesta es más eficaz que las propuestas hasta ahora para el mismo problema.

## REFERENCIAS

- [1] Vallada, Eva; Belenguer, Jose Manuel; Villa, Fulgencia; Alvarez-Valdes, Ramon (2023). "Models and algorithms for a yard crane scheduling problem in container ports". *European Journal of Operational Research*, 309, p.p. 910-924. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2023.01.047>

## Maximizar una función Multi-objetivo en un Problema de Orientación en Equipo

Sandra Oltra Crespo <sup>(1)</sup>, Lucía Agud Albesa <sup>(1)</sup>, Neus Garrido Saez <sup>(1)</sup>, Almudena Llorens Payá <sup>(2)</sup>, Angel A. Juan <sup>(3)</sup>

(1) *Departamento de Matemática Aplicada, Universitat Politècnica de València, [soltra@mat.upv.es](mailto:soltra@mat.upv.es), [lagudal@mat.upv.es](mailto:lagudal@mat.upv.es), [neugarsa@mat.upv.es](mailto:neugarsa@mat.upv.es)*

(2) *Escuela de Doctorado, Universitat Politècnica de València, [allopea@mat.upv.es](mailto:allopea@mat.upv.es)*

(3) *Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicada y Calidad, Universitat Politècnica de València, [ajuanp@upv.es](mailto:ajuanp@upv.es)*

### RESUMEN

El Problema de Orientación en Equipo (TOP por sus siglas en inglés) es un problema de optimización ampliamente conocido y utilizado en la planificación de rutas de vehículos. En el TOP se planifican las rutas para visitar una serie de puntos de interés con el objetivo de conseguir maximizar las recompensas que se obtienen en cada visita. El problema está sujeto a restricciones como son el tamaño de la flota y el tiempo máximo de duración de cada ruta. En este trabajo se pretende maximizar un problema de este tipo, optimizando de forma simultánea dos valores: la recompensa total obtenida con todas las visitas y el número de nodos prioritarios visitados. Para resolver este problema multi-objetivo se combina un algoritmo de generación de rutas que utiliza criterios especiales de ordenación y selección. Para analizar los resultados obtenidos se genera la frontera de Pareto de uno de los casos estudiados.

**Palabras clave:** Problema de orientación en equipo, optimización multi-objetivo, algoritmos de aleatorización sesgada, transporte.

### INTRODUCCIÓN

En la literatura podemos encontrar el que sería la semilla de esta familia de problemas de optimización que se va a desarrollar en este trabajo: el problema de ruteo de vehículos, o VRP por sus siglas en inglés. El VRP es un problema *NP-hard* ampliamente estudiado. Sus principales características son que se parte de un depósito, hay que satisfacer las demandas de los clientes, se tiene una flota de vehículos para ello, las rutas a seguir tienen un coste asociado y, además, hay una serie de restricciones como puede ser un tiempo máximo para ser llevado a cabo, la capacidad de cada uno de los vehículos, una distancia máxima a ser recorrida, etc. El objetivo de este tipo de problema es encontrar un conjunto de rutas eficientes que satisfagan todas las restricciones minimizando el coste total o bien maximizando las recompensas obtenidas durante las visitas a los nodos cliente.

Uno de los algoritmos heurísticos más conocidos para el VRP es la conocida como heurística de los ahorros [3] cuya construcción nos da una idea para los siguientes algoritmos con los que vamos a trabajar. En líneas generales, se construye una solución inicial factible. A partir de ésta, de forma iterativa, se va mejorando la solución combinando las rutas existentes siempre y cuando se sigan cumpliendo las restricciones. Este algoritmo proporciona buenos resultados en un tiempo reducido de

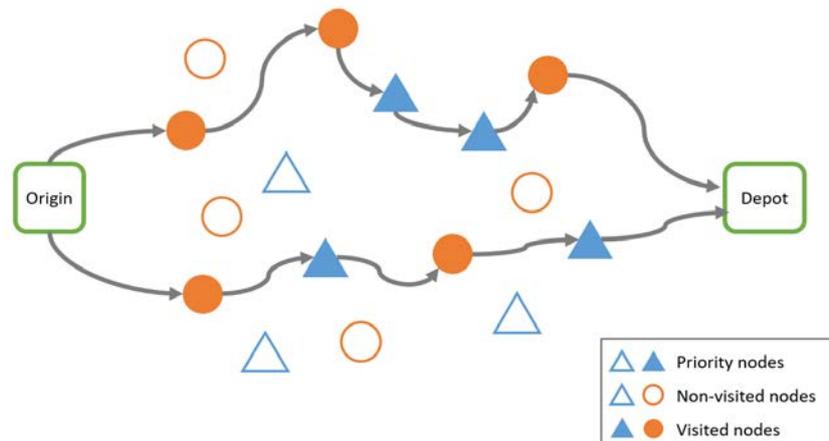
ejecución (milisegundos) incluso para instancias de tamaño grande (e.g., con varios cientos de nodos).

Independientemente del criterio de selección y combinación de las rutas durante el proceso de ejecución, los métodos heurísticos y metaheurísticos no garantizan que el algoritmo encuentre la solución óptima, aunque sí permiten obtener muy buenas soluciones en tiempos de computación bajos [1,4,6].

Las diferencias primordiales del TOP con respecto al VRP son: (i) en el TOP se suelen considerar dos depósitos, uno inicial o de partida y otro final o de llegada; (ii) se cuenta con un número limitado y fijo de vehículos en la flota; (iii) los nodos ofrecen una recompensa cuando son visitados por primera vez; y (iv) hay un tiempo (o distancia) máxima que una ruta puede usar para ser completada. El objetivo en este caso es seleccionar los clientes a visitar y definir rutas que maximicen la recompensa obtenida. Dentro de este tipo de problemas existen muchas aplicaciones como, por ejemplo, vehículos auto-conducidos, vehículos aéreos no tripulados, viajes compartidos, entre otros [5].

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS

Las características del problema que proponemos se observan en la Figura 1. Tenemos un depósito de partida de donde salen los suministros o vehículos y uno de llegada. Los nodos se dividen en dos categorías: nodos no prioritarios o prioritarios, e.g.: un cliente especial para el que haya que priorizar la visita. Cada nodo tiene asociado una recompensa y cada ruta un coste expresado en duración temporal o distancia. Se tiene un número limitado de vehículos ( $m$ ) y un tiempo máximo de duración de cada ruta ( $t_{max}$ ). Resolver el problema consiste en planificar una ruta de forma eficiente teniendo en cuenta diferentes restricciones y maximizando una función que se encarga tanto de contar el número de nodos prioritarios visitados como las recompensas conseguidas.



**Figura 1.** Esquema del problema TOP a resolver.

El objetivo es planificar la ruta de cada vehículo de modo que se maximice, de forma simultánea, la recompensa obtenida y el número de nodos prioritarios visitados. La formulación matemática corresponde a la siguiente función bi-objetivo

$$\begin{aligned} \max: & \alpha \cdot R + (1 - \alpha) \cdot N, \quad \alpha \in [0,1] \\ \text{s. a.} & \{n^{\circ} \text{ de rutas} \leq m, \text{ tiempo de cada ruta} \leq t_{max}\} \end{aligned}$$

donde  $R$  es la recompensa total obtenida en el conjunto de rutas de la solución, y  $N$  el número de nodos prioritarios visitados.

Como ya se propone en la heurística de los ahorros anteriormente citada, al haber unos costes asociados a cada ruta que vayamos recorriendo interesa hacer una fusión de rutas para conseguir mayor eficiencia en la selección inicial de las rutas.

Como punto de partida se ha utilizado el algoritmo PJS [1,4,6], una herramienta heurística combinada con técnicas de aleatorización sesgada mediante el uso de una distribución de probabilidad geométrica [2]. Este enfoque ha sido útil: si tomamos un caso donde o bien todos los nodos son prioritarios o bien todos son no prioritarios, estaremos en una situación en la que la solución debe coincidir con el problema original. Observemos también que en los casos  $\alpha = 0$  y  $\alpha = 1$ , nos restringimos a un problema de optimización clásico de un solo objetivo.

Los datos que precisa el algoritmo para poder determinar las rutas óptimas son las coordenadas de cada nodo, su recompensa correspondiente y el tipo de nodo (prioritario o no). Como salida del algoritmo se obtienen las rutas seleccionadas dependiendo del número de vehículos de la flota, la recompensa total y el número de nodos prioritarios que han sido visitados para cada valor de  $\alpha \in [0,1]$  con un paso de 0.05.

## RESULTADOS

Se ha probado el funcionamiento del programa en múltiples casos y se presentan los resultados para uno en concreto que tiene 102 nodos que se pueden visitar, de los cuales 33 son prioritarios, con una flota de 4 vehículos y un tiempo máximo de 100 unidades temporales.

En la Tabla 7 se muestran los resultados del problema obtenidos con el algoritmo para dos valores concretos de  $\alpha = 0.2$  y  $\alpha = 0.6$ . Se muestran las rutas generadas por el algoritmo para cada uno de los cuatro vehículos, así como la recompensa obtenida en cada ruta ( $R_i$ ), el coste asociado a la ruta ( $C_i$ ) y el número de nodos prioritarios que han sido visitados por cada vehículo ( $N_i$ ).

**Tabla1.** Resultados del problema test.

$\alpha$	Ruta	$R_i$	$C_i$	$N_i$
0.2	0 - 39 - 75 - 26 - 90 - 48 - 49 - 83 - 2 - 46 - 4 - 16 - 28 - 101	213	98.02	4
	0 - 58 - 100 - 56 - 42 - 23 - 12 - 35 - 36 - 22 - 60 - 99 - 98 - 57 - 101	212	99.97	6
	0 - 41 - 62 - 84 - 66 - 78 - 77 - 74 - 97 - 11 - 8 - 59 - 13 - 21 - 101	191	97.85	4
	0 - 50 - 51 - 15 - 52 - 33 - 10 - 34 - 92 - 71 - 69 - 93 - 9 - 30 - 101	187	99.93	7
0.6	0 - 39 - 41 - 21 - 57 - 14 - 13 - 8 - 1 - 23 - 42 - 94 - 55 - 101	236	98.09	4
	0 - 63 - 58 - 100 - 56 - 11 - 12 - 35 - 22 - 36 - 60 - 99 - 74 - 101	210	99.69	5
	0 - 29 - 30 - 50 - 51 - 15 - 52 - 9 - 10 - 17 - 33 - 38 - 101	197	94.81	5
	0 - 28 - 16 - 4 - 46 - 2 - 48 - 91 - 90 - 26 - 75 - 101	183	99.30	3

Se han obtenido 41 soluciones posibles como las observadas en la Tabla 7, una para cada uno de los valores de  $\alpha$ . A modo de ejemplo, para  $\alpha = 0.2$ , la solución consiste en que cada vehículo realice una de las rutas con recompensa total obtenida  $R=803$  y número total de nodos prioritarios visitados  $N=21$ . Para ilustrar las mejores soluciones obtenidas se utiliza la curva de Pareto, tal y como se muestra en la Figura 2 en la que se representan gráficamente los valores de las mejores soluciones en términos de recompensa frente a nodos prioritarios visitados. Como se puede observar a medida

que aumenta uno de los valores de la función objetivo el otro disminuye, como cabe esperar por la propia definición del problema de optimización.

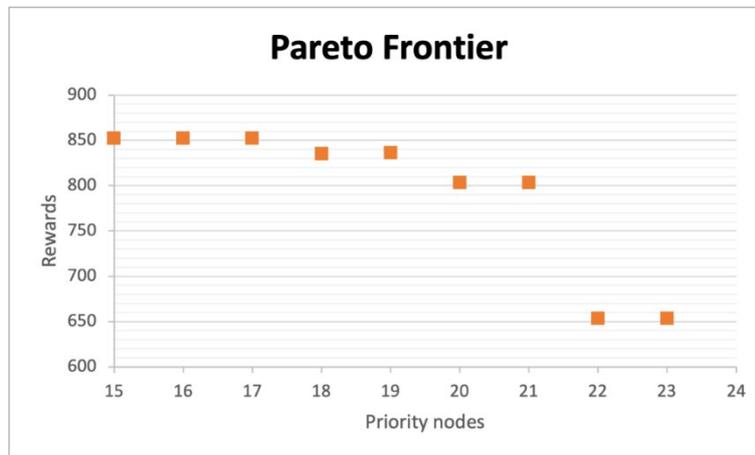


Figura 2. Frontera de Pareto.

## REFERENCIAS

- [1] Ferone, D., Gruler, A., Festa, P., & Juan, A. A. (2019). "Enhancing and extending the classical GRASP framework with biased randomisation and simulation". *Journal of the Operational Research Society*, 70(8), 1362-1375.
- [2] Grasas, A., Juan, A. A., Faulin, J., De Armas, J., & Ramalhinho, H. (2017). "Biased randomization of heuristics using skewed probability distributions: A survey and some applications". *Computers & Industrial Engineering*, 110, 216-228.
- [3] Juan, A. A., Faulín, J., Jorba, J., Riera, D., Masip, D., & Barrios, B. (2011). "On the use of Monte Carlo simulation, cache and splitting techniques to improve the Clarke and Wright savings heuristics". *Journal of the Operational Research Society*, 62(6), 1085-1097.
- [4] Juan, A. A., Freixes, A., Panadero, J., Serrat, C., & Estrada-Moreno, A. (2020). "Routing drones in smart cities: A biased-randomized algorithm for solving the team orienteering problem in real time". *Transportation Research Procedia*, 47, 243-250.
- [5] Ke, L., Zhai, L., Li, J., & Chan, F. T. (2016). "Pareto mimic algorithm: An approach to the team orienteering problem". *Omega*, 61, 155-166.
- [6] Panadero, J., Juan, A. A., Bayliss, C., & Currie, C. (2020). "Maximising reward from a team of surveillance drones: A simheuristic approach to the stochastic team orienteering problem". *European Journal of Industrial Engineering*, 14(4), 485-516.

## Percepción de la gamificación en alumnos de nuevo ingreso del grado de ingeniería eléctrica en la asignatura “Máquinas y mecanismos”

Montava-Jordà, Sergi<sup>(1)</sup>; Sánchez Caballero, Samuel<sup>(2)</sup>; Sellés Cantó, Miguel Ángel<sup>(3)</sup>; Parres García, Francisco José<sup>(4)</sup>; Peydró Rasero, Miguel Ángel<sup>(5)</sup>

*Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Escuela Politécnica Superior de Alcoi. Universitat Politècnica de València ([sermonjo@mcm.upv.es](mailto:sermonjo@mcm.upv.es)<sup>(1)</sup>), [sasanca@dimm.upv.es](mailto:sasanca@dimm.upv.es)<sup>(2)</sup>, [maselles@dimm.upv.es](mailto:maselles@dimm.upv.es)<sup>(3)</sup>, [fraparga@dimm.upv.es](mailto:fraparga@dimm.upv.es)<sup>(4)</sup>, [mpeydro@upv.es](mailto:mpeydro@upv.es)<sup>(5)</sup>)*

### RESUMEN

Las metodologías activas han ido evolucionando a lo largo de los últimos años de forma muy significativa en los estudios superiores y sobre todo en el campo de la ingeniería adaptándose cada vez más en los programas de estudio de las mismas. Las metodologías activas de aprendizaje buscan fomentar la participación activa de los estudiantes en el proceso de enseñanza y aprendizaje, lo que les permite ser más independientes y autónomos en su proceso de formación. El objetivo del presente trabajo es incorporar la gamificación en una asignatura de primer curso “Máquinas y Mecanismos” del Grado de Ingeniería Eléctrica para fortalecer la comprensión de los conceptos teóricos y que los propios alumnos sean capaces de ver si han asimilados los conceptos antes de los actos de evaluación, así como analizar la opinión de los alumnos sobre esta metodología.

**Palabras clave:** metodologías activas, gamificación, KAHOOT, aprendizaje, motivación, ingeniería eléctrica, máquinas, mecanismos.

### INTRODUCCIÓN

El Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) ha experimentado una evolución significativa en el uso de metodologías activas en los últimos años. Estas metodologías se caracterizan por su enfoque centrado en el estudiante, que fomenta la participación activa, la colaboración y el aprendizaje autónomo. A medida que las instituciones de educación superior han buscado mejorar la calidad de la enseñanza y el aprendizaje, se ha producido un cambio notable hacia el uso de estas metodologías en todo el EEES.

La evolución del uso de las metodologías activas en el EEES se ha visto impulsada por una serie de factores. En primer lugar, existe una creciente conciencia de la necesidad de promover un aprendizaje significativo y centrado en el estudiante, que vaya más allá de la simple transmisión de conocimientos. Según la Declaración de Bolonia uno de los hitos clave en la creación del EEES es que "el proceso de aprendizaje se basa en la construcción activa del conocimiento por parte del estudiante".

Además, la adopción de las metodologías activas en el EEES se ha visto respaldada por investigaciones que demuestran sus beneficios para el aprendizaje y el desarrollo de habilidades. Según diferentes trabajos se ha demostrado que el aprendizaje activo mejora el rendimiento académico [1], la retención de conocimientos [2] y el desarrollo de habilidades transversales [3], como el pensamiento crítico y la resolución de problemas. Esto ha llevado a un mayor interés y aceptación de estas metodologías en

el ámbito académico. Entre las metodologías activas más utilizadas destacan: el Aprendizaje basado en problemas (ABP), el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPr), el Aprendizaje cooperativo, el Aprendizaje basado en casos (ABc), la Gamificación y el Aula Invertida o Docencia Inversa.

La Universitat Politècnica de València (UPV) viene impulsando la innovación educativa desde el año 1986, a través de sucesivos programas que han ido evolucionando a lo largo del tiempo y que han conseguido instalar en nuestra universidad una cultura de la innovación, es decir, un proceso de permanente reflexión y mejora de sus enseñanzas para adecuarlas a los numerosos retos a los que hoy debemos responder [4]. De hecho, gracias al Instituto de Ciencias de la Educación de la UPV y las ayudas para Proyectos de Innovación y Mejora Educativa en la convocatoria de 2019 se pudo realizar el proyecto FAGAPRAC - Fomento del Aprendizaje a través de la GAMIFICACIÓN en clases PRÁCTICAS: Estudio de sus beneficios en asignaturas de los Grados de Ingeniería Mecánica, Diseño Industrial, Informática. El equipo multidisciplinar del FAGAPRAC está formado por diferentes profesores de la UPV entre los que destacan los autores de este trabajo.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo ha sido el trasladar las experiencias conseguidas en el proyecto FAGAPAC con la utilización de la gamificación en la parte teórica de una asignatura de primer curso del Grado de Ingeniería Eléctrica y verificar con la percepción del alumnado se han conseguido los objetivos específicos esperados que son los siguientes:

- Motivación y compromiso
- Aprendizaje activo
- Retención de información
- Retroalimentación inmediata

La experiencia consistió en realizar varios cuestionarios utilizando la plataforma de Kahoot de unas 10 preguntas al finalizar cada una de las sesiones teóricas con un total de 7 cuestionarios. Las preguntas consistían en relacionar conceptos teóricos y/o realizar cálculos simples relacionados con la materia similares a los que se realizaran en los actos de evaluación de la asignatura, de esta forma eran capaces de saber si habían asimilado los conceptos. Además, para aumentar tanto la motivación como la competitividad entre el alumnado se decidió premiar con 0,1 puntos sobre la nota de cada uno de los actos de evaluación.

## RESULTADOS

En el trabajo realizado por parte del profesorado se obtuvieron tanto los resultados de los cuestionarios de KAHOOT como los resultados de la encuesta de valoración de la experiencia que es el objetivo principal de este trabajo. Aunque no se ha realizado se ha contemplado la posibilidad de realizar en un futuro el análisis o la comparación entre diferentes cursos de los resultados de los cuestionarios para poder determinar por ejemplo el nivel de asimilación de conceptos como si existen preguntas más complejas o que el alumnado no ha conseguido asimilar. De este futuro trabajo se podrían obtener de forma inmediata *feedbacks* para el profesorado pudiendo reforzar o realizar más

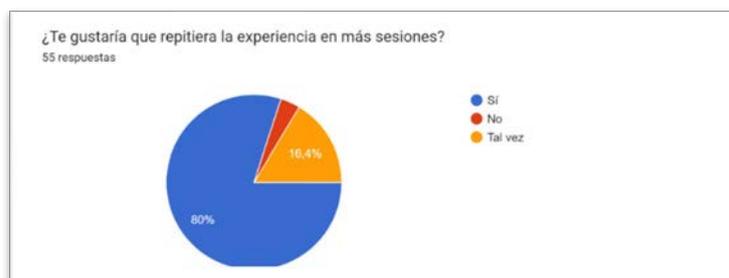
hincapié en aquellos temas que no se han llegado a asimilar de la forma esperada. La encuesta de valoración se realizó con la herramienta de *Google Forms* de forma anónima para garantizar que las respuestas de los alumnos sean lo más reales posibles sin sentirse presionados por parte de los profesores. La encuesta de valoración se realizó en la últimas de las sesiones teóricas una vez realizados también los actos de evaluación en la cual participaron un total de 55 alumnos de 65 alumnos matriculados. La encuesta de valoración constaba de 4 preguntas muy claras y relacionadas con los objetivos específicos que se habían marcado o pretendían alcanzarse con esta experiencia.

Los resultados de la pregunta 1 “¿Te ha gustado utilizar la gamificación con la herramienta KAHOOT? se pueden apreciar en la Figura 1 donde se puede apreciar que a más del 70% les ha gustado la gamificación frente a un 9,1% que no les ha gustado.



**Figura 1.** Resultados de la pregunta 1 de la encuesta de valoración de la experiencia

Los resultados de la pregunta 2 “¿Te gustaría que se repitiera la experiencia en más sesiones? se pueden apreciar en la Figura 3 y solamente a un 3,6% no le gustaría repetir esta metodología en más sesiones frente a un abrumador 80% que sí les gustaría y un 16,4% se mantiene indiferente.



**Figura 2.** Resultados de la pregunta 2 de la encuesta de valoración de la experiencia

Los resultados de la pregunta 3 “¿Piensas que tener que realizar una prueba con KAHOOT tras la sesión teórica ha hecho que aumente tu atención durante esta? se pueden apreciar en la Figura 3 y donde de nuevo un 69,1% (porcentaje muy similar al de la pregunta 1) opinan que esta metodología les ha hecho estar más atentos durante la parte más teórica de la sesión magistral.

Los resultados de la pregunta 4 “¿Piensas que podría ser una buena herramienta para evaluar si se han afianzado los conceptos teóricos? se pueden apreciar en la Figura 4 y a pesar de que a un 52,7% les ha parecido que sí que se han afianzado los conceptos, a un 14,5% les ha parecido que no y a un 32,7% se mantiene indiferente.



Figura 3. Resultados de la pregunta 3 de la encuesta de valoración de la experiencia

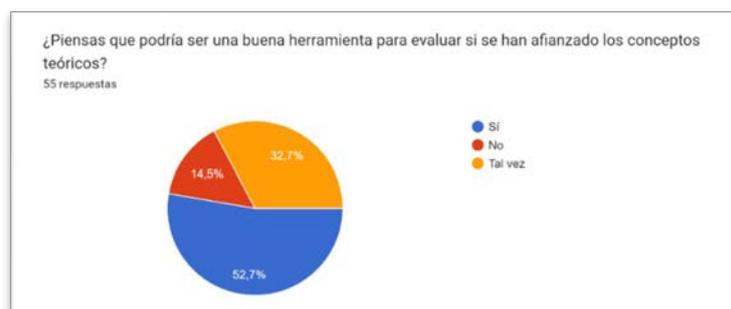


Figura 4. Resultados de la pregunta 4 de la encuesta de valoración de la experiencia

## CONCLUSIONES

Si se analizan con detalle cada una de las preguntas se puede observar que la opinión del alumnado ha sido la esperada siendo la gran mayoría partidaria de este tipo de metodologías y obteniéndose una buena percepción por parte de estos a la hora de conseguir los objetivos específicos marcados. Por lo tanto, para los autores de este trabajo ha sido una experiencia muy positiva y a la que desean realizar un seguimiento en años posteriores para poder determinar o encontrar puntos de mejora, así como un seguimiento más profundo de los resultados obtenidos

## REFERENCIAS

- [1] Mingorance, AC; Trujillo, JM; Cáceres, P; Torres, C. (2017). "Mejora del rendimiento académico a través de la metodología de aula invertida centrada en el aprendizaje activo del estudiante universitario deficiencias de la educación". v.9, n. 1, pp. 129-136.
- [2] Montava-Jorda, S; Sellés, MA; Sanchez-Caballero, S; Peydro, MA; Parres, F. (2022). "Utilización de la gamificación en asignaturas prácticas del grado de ingeniería mecánica". XXIX Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas (CUIEET 2022), n., pp. 196-201.
- [3] Montuori, L; Alcázar Ortega, M; Vargas Salgado, CA; Bastida Molina, P. (2019). "Metodología para fomentar el aprendizaje activo de competencias específicas y transversales a través del soporte de softwares ERPs educativos". En: IN-RED 2019. V Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red, pp. 1379-1394
- [4] UPV. Innovación Educativa – ICE. <https://www.ice.upv.es/profesorado/plan-de-apoyo-al-desarrollo-profesional-del-docente-de-la-upv/innovacion/> iniciada en 15/06/2023

## Mejora de propiedades mecánicas dúctiles de ácido poliláctico con la incorporación de un éster del ácido maleico

Esplugues, S<sup>(1)</sup>, Garcia-Carrasco, S<sup>(1)</sup>, Lazaro-Hernandez, C<sup>(1)</sup>,  
Martinez-Marco, P<sup>(1)</sup>, Saz-Ulibarrena, D<sup>(1)</sup>

(1) *Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoy (Alicante), sespneb@txp@upv.es*

### RESUMEN

El PLA es un poliéster alifático que se puede obtener a partir de fuentes vegetales ricas en almidón como el arroz, el maíz, la yuca y la caña de azúcar entre otras. Este material presenta una buena procesabilidad, tiene una serie de propiedades balanceadas y es un material biodegradable.

Sin embargo, una de sus principales desventajas es su fragilidad intrínseca debido a su pobre comportamiento dúctil. El principal objetivo de este estudio es mejorar sus propiedades mecánicas dúctiles mediante la adición de un plastificante.

El plastificante utilizado es el bis-(2-etilexil) maleato, este plastificante es considerado un plastificante verde ya que se puede obtener a partir de la esterificación catalítica del ácido maleico y el alcohol 2-etilhexílico. El ácido maleico es el ácido principal de muchas frutas como los albaricoques, arándanos y las moras.

En este estudio se explicará el proceso de fabricación de varias probetas de PLA con distintas cantidades de plastificante y la caracterización mecánica de estas con ensayos de tracción, dureza y tenacidad que se han llevado a cabo. Además, se ha observado la variación estructural de estas probetas con distintas cantidades de plastificante de una manera detallada a través del FESEM.

**Palabras clave:** PLA, verde, plastificante, ductilidad, bis-(2-etilexil) maleato, FESEM.

### INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más consciente de la necesidad de reducir el impacto ambiental de nuestros hábitos y productos, la búsqueda de alternativas sostenibles se ha convertido en una prioridad. En este contexto, el ácido poliláctico (PLA) ha emergido como una opción prometedora como alternativa verde a los polímeros convencionales. El PLA, derivado de fuentes renovables como el almidón de maíz, la caña de azúcar o la remolacha azucarera, presenta un potencial significativo para mitigar los problemas asociados con los polímeros de origen fósil.

El PLA presenta una gran versatilidad a la hora del procesado ya que se puede fabricar por diferentes técnicas convencionales como la inyección o la extrusión. Es un material transparente y brillante con cierta resistencia y rigidez. Su principal problema es su pobre comportamiento dúctil lo que lo convierte en un material relativamente frágil. Para paliar este problema se está estudiando la adición de plastificantes que presenten una buena miscibilidad con el PLA y ofrezcan una mejora en sus propiedades. La mayoría de los plastificantes que se utilizan normalmente suelen ser derivados del petróleo y no suelen presentar un origen verde [1,2].

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es estudiar y mejorar las propiedades mecánicas dúctiles del PLA mediante la adición de un plastificante, específicamente el bis-(2-etilhexil)maleato, investigando sus características, realizando ensayos y evaluando los resultados obtenidos.

## METODOS EXPERIMENTALES

### Materiales

El material utilizado es PLA “Luminity L130” de la marca Corbion mientras que el plastificante utilizado es bis(2-ethylhexyl) maleate 90% de Sigma-Aldrich.

### Fabricación de los materiales

El método de fabricación de las probetas ha sido mediante inyección. Para realizar el procesado se ha mezclado durante 1 min a 180 °C y extruido seguidamente. A continuación, se ha introducido en la inyectora a 185 °C con una temperatura de molde de 35 °C y ejerciendo una presión de 10 bar. Se obtuvieron 20 probetas de tracción e impacto de cada uno de los materiales fabricados.

Se han preparado 4 tipos diferentes de material, la diferencia entre ellos es el porcentaje incorporado de plastificante, el peso total de cada muestra era de 19 g. A continuación, se muestran las cantidades a procesar.

**Tabla 1.** Cantidad y porcentaje de cada material a procesar.

Muestra	PLA (%)	Bis(2-etilhexil) maleato (%)	PLA (g)	Bis(2-etilhexil) maleato (g)
1	100	0.00	19.0	0.00
2	90.0	10.0	17.1	1.90
3	80.0	20.0	15.2	3.80
4	70.0	30.0	13.3	5.70

## Caracterización

### Caracterización mecánica

Se han medido las características mecánicas de los materiales mediante las técnicas más significativas en este ámbito, ensayo de tracción con maquina universal, ensayo de impacto Charpy y ensayo de dureza Shore. El ensayo de dureza Shore se lleva a cabo en escala Shore D. Se representarán en forma de gráfica comparando el módulo elástico, la tensión de rotura y % de alargamiento a la rotura en función del porcentaje de plastificante añadido. Además, en otra gráfica se representará la dureza y la energía de impacto de la misma manera que la anterior.

### Análisis estructural de la superficie de rotura

Esta técnica se ha utilizado para ver la miscibilidad entre el PLA y el bis-(2-etilhexil) maleato, ya que dependiendo de esta se pueden obtener ciertos datos de la caracterización mecánica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primer lugar, se representa una gráfica con los resultados del ensayo de impacto y de dureza en relación con la cantidad de plastificante.

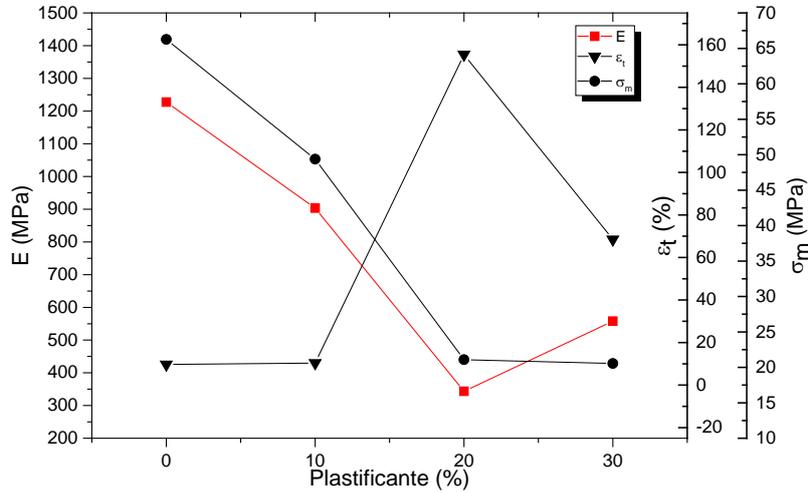


Figura 1. Resultados ensayo de tracción

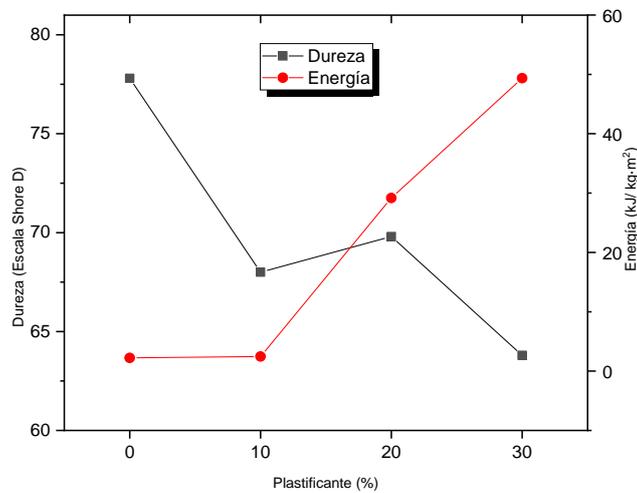


Figura 2. Resultados ensayos impacto y dureza

Se puede observar cómo al ir aumentando la cantidad de plastificante los valores de dureza disminuyen ya que al añadir el plastificante el material se va haciendo más “blando”, llegando a diferencias de 10 unidades entre el PLA virgen y el PLA con 30% de plastificante. Además, al ir aumentando la cantidad de plastificante la energía absorbida en la prueba de impacto es mayor, logrando valores de hasta 50 kJ/kg.m<sup>2</sup>.

### Análisis estructural de la superficie de rotura

Se observa mediante FESEM la superficie de rotura de las probetas.

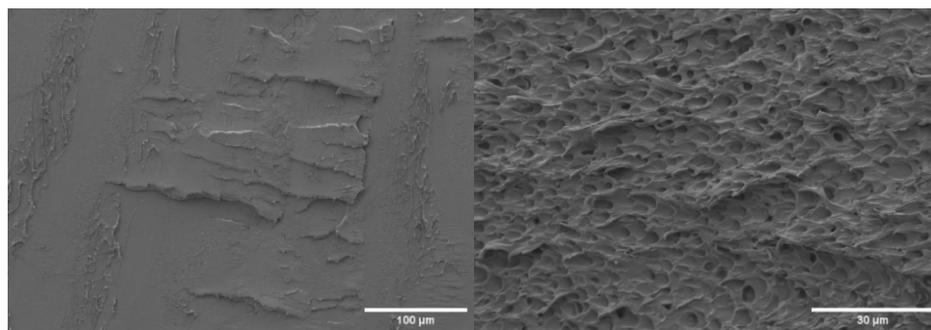


Figura 3. FESEM PLA

Figura 4. FESEM PLA 30%

Se observa el diferente tipo de rotura que tienen las probetas que solo tienen PLA (rotura lisa) y las probetas con un 30% de plastificante que tienen una rotura más rugosa donde se ve claramente la influencia del plastificante añadido y como incluso en esta cantidad puede estar migrando. Además, la muestra de PLA 30% presenta en la superficie cierta plasticidad, mientras la muestra de PLA se ve una rotura más frágil.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos reflejan una gran mejora en las propiedades mecánicas del PLA. Al añadirle bis-(2-etilexil) maleato se consigue una ligera disminución de la dureza lo que se puede traducir en una menor rigidez y fragilidad y una gran mejora en la absorción del impacto a partir del 20% de plastificante.

En cuanto a las propiedades mecánicas a tracción, se observa que al 20% de plastificante, el alargamiento a rotura aumenta considerablemente, 15 veces mayor que el propio del PLA virgen, aunque la tensión de rotura y el módulo de elasticidad se ven reducidos en un 60%.

Se puede observar cierta migración del plastificante a partir del 30% de este por lo que sería interesante, de cara al futuro, realizar un estudio para encontrar el porcentaje óptimo de este plastificante. Todas estas mejoras mecánicas a partir de la adición del bis-(2-etilexil) maleato podrían facilitar y mejorar el procesado y conformado de este material además de brindarle nuevas aplicaciones posibles. Además, se podrían estudiar otras propiedades de este material como por ejemplo las propiedades térmicas. En este estudio se ha conseguido crear un nuevo material a partir del PLA biodegradable y de un plastificante verde por lo que se ha obtenido un material verde con mejores propiedades mecánicas que el PLA.

## REFERENCIAS

- [1] Barandiaran, A.; Gomez-Caturla, J.; Ivorra-Martinez, J.; Lascano, D.; Selles, M. A.; Moreno, V.; Fenollar, O. (2023). "Esters of Cinnamic Acid as Green Plasticizers for Polylactide Formulations with Improved Ductility". *Macromolecular Materials and Engineering*, p.p. 2300022. <https://doi.org/10.1002/mame.202300022>
- [2] Quiles-Carrillo, L.; Blanes-Martínez, M. M.; Montanes, N.; Fenollar, O.; Torres-Giner, S.; Balart, R. (2018). "Reactive toughening of injection-molded polylactide pieces using maleinized hemp seed oil". *European Polymer Journal*, v. 98, p.p. 402-410. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.11.039>

## Transporte sanitario no urgente: un problema dial-a-ride

**Giménez-Palacios, Iván<sup>(1)(3)</sup>, Vallada, Eva<sup>(1)(4)</sup>, Belenguer, José Manuel<sup>(2)</sup>,  
Villa, Fulgencia<sup>(1)</sup>**

(1) *Grupo de Sistemas de Optimización Aplicada, Instituto Tecnológico de Informática, Ciudad Politécnica de la Innovación, edificio 8G, Acc. B. Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46021, València, España, ivgipa@upvnet.upv.es, evallada@eio.upv.es, mfuvilju@eio.upv.es.*

(2) *Universidad de Valencia, Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Doctor Moliner 50, 46100, Burjassot, València, España, jose.belenguer@uv.es.*

(3) *Postdoctoral Fellow at ValgrAI*

(4) *Senior Research Fellow at ValgrAI*

### RESUMEN

Uno de los principales retos del sistema sanitario es poder realizar un uso eficiente de los recursos disponibles. Uno de estos recursos son los vehículos de transporte de paciente. Desde un punto de vista matemático, o de optimización, se han resuelto problemas para ayudar en la toma de decisiones a la hora de decidir cuantos vehículos son necesarios para que una zona esté completamente cubierta dentro de un tiempo razonable, o dónde deben estar estos vehículos al inicio de la jornada para que la cobertura sea equitativa. En nuestro caso, estamos enfocados en una de las etapas posteriores, en la que hay que decidir las rutas a seguir por los diferentes vehículos para recoger a una serie de pacientes y llevarlos a ser atendidos a su centro de salud, o ser devueltos a sus hogares. En este trabajo proponemos una formulación matemática para resolver este problema.

**Palabras clave:** optimización, dial-a-ride problem, transporte no urgente de pacientes

### INTRODUCCIÓN

Cada día, hay pacientes que, por diversas razones, como pueden ser una movilidad reducida, edad avanzada, o vivir en zonas mal comunicadas, necesitan ser trasladados a un hospital o un centro sanitario para ser atendidos para una cita programada previamente (rehabilitación, diálisis, visita a un especialista, ...), o bien ser transportados de vuelta a sus domicilios por un alta hospitalaria, o ambos viajes (tanto la ida a la visita con el médico, como la vuelta a su domicilio, dentro de la misma jornada). Este problema es conocido como el problema del transporte no urgente de pacientes. La complejidad de este problema se basa, sobre todo, más allá de que tenemos un número fijo de vehículos que podemos utilizar, y de que todos los pacientes deben ser atendidos, en las ventanas temporales. Las ventanas temporales son un período determinado de tiempo dentro del cual los pacientes deben ser recogidos de sus domicilios habituales o deben ser desembarcados en el centro sanitario correspondiente para su cita. Este hecho hace que el problema se complique, ya que es posible que pacientes de zonas cercanas y con un mismo centro sanitario de destino, no puedan ser recogidas en un período de tiempo cercano porque sus ventanas temporales estén muy separadas. En este trabajo se pretende resolver este problema enfocándolo desde un punto de vista matemático. Estos problemas son conocidos como Dial-a-Ride Problems (DARP), es decir, situaciones en las que un cliente, o paciente en nuestro caso, solicita un servicio

(ser transportado al hospital) y este servicio es ofrecido por una compañía, normalmente, una compañía de transportes que entrega o recoge un pedido (en nuestro caso, es el propio paciente quien debe ser transportado, servicio que ofrece la compañía que gestiona las ambulancias). En la literatura existen problemas similares al nuestro enfocados como un DARP, pero cada uno de ellos con las características particulares de las diferentes ciudades o países donde se está estudiando el caso [1]. Por ello, nos planteamos resolver el problema de forma general con las restricciones comunes, para luego adaptarlo a situaciones más específicas que puedan complicarlo.

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El objetivo del problema es construir las diferentes rutas a seguir por cada uno de los vehículos disponibles, de manera que el tiempo total que los vehículos están en circulación sea el mínimo posible, y teniendo en cuenta que cada vehículo dispone de una capacidad máxima de personas que puede transportar, ha de empezar y acabar las rutas en el depósito, que se deben respetar las ventanas temporales de entrega y recogida de cada paciente, así como la de los vehículos, que son el periodo de tiempo dentro del cual pueden llevar a cabo los transportes, y que todos los pacientes deben ser atendidos para su o sus viajes. Para ello, vamos a modelizar el problema de forma matemática para plantearlo como un problema de programación lineal entera mixta. Esta formulación está basada en el problema general que modelizan en [2]. Sea  $G = (V, A)$  un grafo directo completo, donde  $V = \{0, \dots, 2n + 1\}$  es el conjunto de nodos y  $A = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$  el conjunto de arcos. Los nodos 0 y  $2n + 1$  representan el depósito donde todos los vehículos empiezan y terminan sus rutas, los nodos  $P = \{1, \dots, n\}$  son los nodos de recogida y los  $D = \{n + 1, \dots, 2n\}$  los de entrega. En cada nodo  $i$  hay un paciente que debe ser transportado al nodo  $i + n$ . Llamamos a este servicio una petición y la escribimos  $\{i, i + n\}$ . Cada paciente requiere de  $q_i$  posiciones dentro del vehículo. Para transportar a los pacientes hay una flota de vehículos idénticos  $M = \{1, \dots, m\}$  con capacidad máxima para transportar  $q$  pacientes. En cada nodo  $i$  hay una ventana temporal  $[e_i, l_i]$  dentro de la cual se debe llevar a cabo el servicio, es decir, el embarque o desembarque del paciente en el vehículo. Este embarque o desembarque lleva asociado un tiempo de servicio  $s_i$  que es el tiempo necesario para llevarlo a cabo. Así, el servicio en cada nodo debe empezar después de  $e_i$  y acabar antes de  $l_i$ , teniendo en cuenta el tiempo de servicio. El depósito tiene también una ventana temporal dentro de la cual los vehículos pueden circular,  $[e_0, l_0] = [e_{2n+1}, l_{2n+1}]$ . Como información del problema también tenemos una matriz asimétrica  $T$  donde cada elemento  $t_{ij}$  es el tiempo necesario para viajar del nodo  $i$  al nodo  $j$ . En una primera versión, el objetivo será minimizar el tiempo total que los vehículos están en circulación. El modelo de programación lineal entera mixta planteado es el siguiente:

$$\text{Minimizar } \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} t_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

$$\text{s. a. : } \sum_{k \in K} \sum_{j \in N} x_{ij}^k = 1, \quad \forall i \in P \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ij}^k - \sum_{j \in N} x_{n+i,j}^k = 0, \quad \forall i \in P, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0j}^k \leq 1, \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ji}^k - \sum_{j \in N} x_{ij}^k = 0, \quad \forall i \in P \cup D, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} x_{i,2n+1}^k \leq 1, \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$B_j^k \geq B_i^k + s_i + t_{ij} - M_{ijk}(1 - x_{ij}^k), \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K \quad (7)$$

$$Q_j^k \geq Q_i^k + q_j - W_{ijk}(1 - x_{ij}^k), \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K \quad (8)$$

$$B_0^k \geq e_0, \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$B_{2n+1}^k \leq l_0, \quad \forall k \in K \quad (10)$$

$$e_i \leq B_i^k \leq l_i - s_i, \quad \forall i \in P \cup D \quad (21)$$

$$\max(0, q_i) \leq Q_i^k \leq \min(Q_k, Q_k + q_i), \quad \forall i \in N, k \in K \quad (12)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, Q_j^k, B_j^k \in \mathbb{Z}, i \in N, j \in N, k \in K$$

(1) es la función objetivo, con la cual minimizamos el tiempo recorrido por los vehículos. La variable  $x_{ij}^k$  vale 1 si el vehículo  $k$  realiza el recorrido entre los nodos  $i$  y  $j$ . Las ecuaciones (2) garantizan que todos los pacientes son atendidos. (3) satisface que el mismo vehículo completa el servicio  $\{i, n + i\}$ . Las restricciones (4) y (6) para que cada vehículo salga y vuelva al depósito, sin necesidad de utilizar todos los vehículos disponibles. (5) son las ecuaciones de flujo. Las restricciones (7) son para el momento de inicio de servicio de cada nodo. La variable  $B_j^k$  es entera y toma el valor del momento en el que el vehículo  $k$  inicia el servicio en el nodo  $j$ , si lo visita. De forma similar las ecuaciones (8) y (12) garantizan que no se sobrepasa la carga máxima de los vehículos.  $Q_j^k$  es una variable entera que toma el valor del número de pacientes que hay en el vehículo al partir del nodo  $j$ , si lo visita. (9)-(11) son para las ventanas temporales de cada nodo y del depósito.

El modelo puede modificarse para reducir el número de variables y restricciones, ya que las variables  $B_j^k$  y  $Q_j^k$  solo son necesarias cuando es el vehículo  $k$  el que va a visitar el nodo  $j$ . Las restricciones (9)-(12) eliminarían el superíndice  $k$ , mientras que (7) y (8) quedarían como:

$$B_j \geq B_i + s_i + t_{ij} - M_{ij} \left( 1 - \sum_{k \in K} x_{ij}^k \right), \forall i \in N, j \in N \quad (13)$$

$$Q_j \geq Q_i + q_j - W_{ij} \left( 1 - \sum_{k \in K} x_{ij}^k \right), \quad \forall i \in N, j \in N \quad (14)$$

## RESULTADOS

Para probar el modelo anteriormente presentado, se han generado 100 instancias, con entre 10 y 50 pacientes (20 de cada una), que pueden contar con un solo viaje o dos viajes en sus peticiones. De cada número de pacientes, 10 instancias se han generado considerando un horizonte temporal de 8 horas y las otras 10 de 16 horas. El horizonte temporal es el tamaño de la ventana temporal del depósito. En esta primera versión, consideramos un tiempo de servicio de 2 minutos para todos los pacientes, que además solo ocupan una posición en los vehículos. Hay un único depósito y los vehículos son todos iguales, con la misma capacidad máxima y ventana temporal. A continuación, se presenta una tabla resumen con los resultados obtenidos en promedio.

**Tabla 1.** Resultado del modelo para las 100 instancias generadas.

Pacientes	GAP	Tiempo (s)	N Variables	N Restricciones
10	0	11,8	3732	1686
20	35.1	3600	29114	6632
30	63.8	3600	103670	15705
40	-	3600	253234	28722
50	-	3600	513497	46490

Como se puede observar, en una hora de ejecución, el modelo solo es capaz de resolver las instancias de 10 pacientes, en las de 20 pacientes es capaz de llegar a alguna solución en todos los casos, en las de 30 solo en uno, y en las de 40 y 50 no consigue ni obtener una solución factible.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo que actualmente sigue en desarrollo son las siguientes:

- 1) El modelo incluye un gran número de variables y restricciones, incluso haciendo la reducción planteada con las restricciones (13) y (14). Se podrían conseguir resultados mejores eliminando el superíndice en todas las variables. Actualmente es una línea abierta en este trabajo.
- 2) En problemas de esta complejidad, resolver con métodos de programación lineal no es suficiente. En la mayoría de los casos no se conseguirá llegar a la solución óptima. Por ello, es necesario desarrollar algoritmos metaheurísticos que, si no el óptimo, consiguen soluciones de buena calidad en tiempos de ejecución razonables. Se está diseñando un algoritmo Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) que consiste en construir una solución inicial que en etapas sucesivas se va mejorando hasta llegar a un objetivo fijado al principio.

## REFERENCIAS

- [1] Luo, Zhixing; Liu, Mengyang; Lim, Andrew (2019). "A Two-Phase Branch-and-Price-and-Cut for a Dial-a-Ride Problem in Patient Transportation". *Transportation science*, 53, 1, 113-130. <https://doi.org/10.1287/trsc.2017.0772>
- [2] Ropke, S.; Cordeau, J.-F; Laporte, G. (2007). " Models and branch-and-cut algorithms for pickup and delivery problems with time windows". *Networks*, 49, 258-272. <https://doi.org/10.1002/net.20177>

## Aspectos básicos de diseño digital de interiores empleados en la Realidad Virtual y su adaptación al Metaverso. CASO Biomimetic

Jover-Peris, Vicente<sup>(1)</sup>, Sempere-Ripoll, Silvia<sup>(1)</sup>, Ferrándiz-Bou, Santiago<sup>(1)</sup>

(1) *Universitat Politècnica de València*

### RESUMEN

La presente investigación se centrará en el análisis del resultado obtenido en el proyecto profesional realizado para la empresa Cosméticos Biomimetic en el que se ha empleado la Realidad Virtual. Figura 1.1 y 1.2. En este proyecto, se ha experimentado con las posibilidades de mejora de las aplicaciones de Realidad Virtual (en adelante RV) y su adaptación en el Metaverso [1][2].

Las posibilidades de mejora atienden fundamentalmente a cuestiones concretas que afectan tanto a los aspectos básicos del diseño digital como a los aspectos de usabilidad de estas aplicaciones. En ellas se han implementado conceptos propios de otros ámbitos como el de la ergonomía y el del diseño industrial particularmente en el terreno del interiorismo [3].

Así, en este estudio se analizará la ampliación de posibilidades que afectan a la ergonomía visual que intervienen directamente a la experiencia del usuario, en aplicaciones de Realidad Virtual y su empleo en las Oculus Quest 2.

Es importante señalar que este trabajo profesional forma parte y se enmarca en un proyecto de la investigación más amplio como es el diseño de un Procedimiento de Buenas Prácticas (en adelante P-BP), mediante el cual se establezca una guía orientativa para la realización y diseño de esta tipología de aplicaciones y productos, centrados en la experiencia de usuario.

En definitiva, se trata de evidenciar que mediante la utilización de estos procedimientos se puede ampliar el abanico de estrategias comerciales estimulando la demanda de estos servicios.

**Palabras clave:** Realidad Virtual, Metaverso, Inmersivo, Usabilidad, Ergonomía, Estética, Cosméticos.

### TRABAJO REALIZADO

Mediante 3dsmax y Unreal, se ha diseñado la aplicación de RV para las Oculus Quest 2 (Meta). Un espacio donde se muestran en distintos atriles y escenarios las propiedades de los productos de Biomimetic, desde su composición molecular hasta las distintas aplicaciones (Antiedad, antimanchas, antiarrugas, etc...).

Experiencia inmersiva que aportará al usuario, propietario de farmacia, un perfecto conocimiento de las propiedades y aplicaciones de los cosméticos Biomimetic.

A partir de esta aplicación de RV, se ha diseñado para el portal Spatial.io, el mismo contenido optimizado, pero en formato web3 (Metaverso) [4].

La plataforma Spatial.io aporta un factor social, que no aportan las gafas de RV [5].

A pesar de que la experiencia es menos inmersiva, Spatial permite contactar con otras personas desde un entorno web, más accesible y fácil de usar que con las gafas de RV.

El objetivo es profundizar en la creación de espacios donde puedan interactuar los clientes. Bien en las formaciones de la empresa o para adquirir productos y compartir experiencias [6].



**Figura 1.** Detalle del interior de la sala de Showroom de Biomimetic Virtual.



**Figura 2.** Detalle de los atriles de la sala de Showroom de Biomimetic Virtual.

## REFERENCIAS

- [1] Stephenson, N. Cap. 2-3. Snow Crash. 1ª edición; Gigamesh Ediciones (20 de octubre de 2022), España. pp. 18-35 ISBN-10 841750754X.
- [2] Marshall McLuhan, E. C., Cap. I - La Comunicación táctil y visual. El aula sin muros: investigaciones sobre técnicas de comunicación. 1ª edición; Ediciones de Cultura Popular (1 de enero de 1968), España. pp. 14-50, UNSPSC-Code 55101500.
- [3] Winters, T. Cap I – Who and what will power the metaverse. The Metaverse: Prepare now for the next big thing. 1ª edición; Editorial Winters Media (14 de agosto de 2021), Inglés, pp. 10-45. ISBN-10 1913666999.
- [4] Rijmenam, M. Cap 1: The Future is Immersive. Step into the Metaverse: How the immersive internet will unlock a trillion-dollar social economy. 1ª edición; Editorial Winters Media (20 de mayo de 2022), Inglés. pp. 15-40. ISBN-10 1119887577.
- [5] Fink, C. Chapter 3 - The augmented man. Charlie Fink's Metaverse – An AR enabled guide to AR&VR. Primera edición; Editorial Kindle (8 de enero de 2018), Inglés. pp. 22-30. UNSPSC-Code 55101505.
- [6] Schlemmer, E. Chapter 3 – The Metaverse: 3D Digital Virtual Words. Learning in Metaverses: Co-existing in real virtuality. 1ª edición; Editorial IGI global (29 de diciembre de 2014), Inglés. pp. 48-82. ISBN-10 1466663510.
- [7] Medium.com.  
Available online: <https://medium.com/@mudit.org/tenemos-chic-nuevo-en-la-oficina-el-metaverse-chief-officer-5c399a09ff6b> (accessed on 15/01/2023).
- [8] Mudit.org.  
Available online: <https://mudit.org/> (accessed 23/01/2023).
- [9] Inbani.com.  
Available online: <https://www.inbani.com/> (accessed 24/01/2023).
- [10] Inclass.es.  
Available online: <https://inclass.es/> (accessed 24/01/2023).
- [11] Perezochando.com.  
Available online: <https://www.perezochando.com/> (accessed 24/01/2023).
- [12] Santiagosevillano.com.  
Available online: <http://www.santiagosevillano.com/> (accessed 24/01/2023).
- [13] Yonoh.es.  
Available online: <http://www.yonoh.es/> (accessed 24/01/2023).
- [14] Estudihac.com.  
Available online: <https://www.estudihac.com/> (accessed 24/01/2023).

## Propuesta de un conjunto de indicadores clave de rendimiento para evaluar la movilidad sostenible en Ciudades Inteligentes. Aplicación a un caso práctico.

Soriano-González, Raquel <sup>(1)</sup>, Perez-Bernabeu, Elena <sup>(1)</sup>, Carracedo, Patricia <sup>(1)</sup>, Juan, Ángel A. <sup>(1)</sup>

*(1) Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP), Universitat Politècnica de València, Ferrandiz y Carbonell, s/n, Alcoy, 03802, Spain.*

### RESUMEN

En este artículo se realiza un análisis exhaustivo de los indicadores clave de rendimiento (KPI) relacionados con la movilidad en áreas urbanas inteligentes y sostenibles. El objetivo es identificar los KPI más relevantes desde la perspectiva de la gobernanza realizando una revisión detallada de la literatura existente y proyectos de movilidad implementados en ciudades inteligentes para identificar los KPI destacados. Se recopila una gran cantidad de datos abiertos proporcionados por el ayuntamiento de Barcelona, abarcando aspectos de movilidad, medioambientales, sociales y económicos desde 2017 a 2022. La evolución temporal de estos datos proporciona una visión clara y detallada de la situación de la movilidad en la ciudad. Ampliamos la investigación a otras ciudades españolas y europeas para crear marcos comparativos y situar a Barcelona en el contexto más amplio de la movilidad sostenible en Europa. El artículo resalta la importancia de la calidad de los datos en la selección de los indicadores, la disponibilidad de datos abiertos confiables y su importancia en la elección de los KPI y plantea desafíos al realizar comparaciones entre diferentes ciudades. Se observa de manera consistente en todos los estudios que los datos ambientales son los menos satisfactorios en la evaluación de la movilidad sostenible.

**Palabras clave:** Movilidad Sostenible, Indicadores Clave de Rendimiento, Ciudades Inteligentes.

### INTRODUCCIÓN

Ante la transformación de la urbanización en las ciudades, tanto a nivel europeo como global, el transporte y los servicios de movilidad desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de ciudades sostenibles e inteligentes. El surgimiento de la economía a la carta y el crecimiento del comercio electrónico han ocasionado un considerable aumento en las operaciones de transporte dentro de los núcleos urbanos, lo cual representa uno de los principales desafíos para los organismos de gobierno. Asimismo, las ciudades están siendo habitadas cada vez más por vehículos de emisión cero, tales como vehículos eléctricos, vehículos aéreos no tripulados y vehículos autónomos, así como por nuevos servicios de transporte más sostenibles, como el carsharing y el ridesharing, los cuales están experimentando un uso cada vez mayor. Estos avances tecnológicos y servicios plantean una serie de desafíos adicionales para las ciudades en términos de suministro de energía, ubicación de estaciones de carga y estacionamiento, gestión del espacio para flotas de vehículos compartidos y optimización de planes de viaje en función de las condiciones del tráfico. Estos son algunos de los nuevos retos a los que se enfrentan los gobiernos de las ciudades inteligentes, y requieren herramientas que les permitan tomar decisiones informadas para el desarrollo urbano en términos de sostenibilidad.

El presente trabajo se centra en la búsqueda de indicadores clave de rendimiento (KPI) como medida cuantificable de los cambios a lo largo del tiempo ayudando a la toma de decisiones. Mediante el desarrollo adecuado de estos KPI y la utilización de Open Data Barcelona como base de datos para el estudio, se brindan las herramientas necesarias para que los responsables de las ciudades puedan tomar decisiones en tiempo real. Esto implica un ahorro de tiempo para los ciudadanos, una reducción en el consumo de energía y una mejora en la seguridad de la movilidad urbana. Además, estos KPI permiten cuantificar el impacto de los cambios en la movilidad desde diferentes perspectivas.

## OBJETIVOS

Los principales objetivos del presente estudio se pueden resumir de la siguiente manera: en primer lugar, llevar a cabo una exhaustiva revisión de la literatura científica y proyectos relacionados con la movilidad sostenible en áreas urbanas inteligentes y sostenibles, con el fin de identificar y categorizar los indicadores clave de rendimiento (KPI) relevantes para la movilidad ciudadana. En segundo lugar, calcular los valores de los KPI propuestos para la ciudad de Barcelona en un periodo de tiempo específico, utilizando datos pertinentes y confiables. Por último, extender el cálculo de los valores de KPI a otras ciudades, lo cual permitirá realizar comparaciones significativas entre ellas y evaluar su desempeño en términos de movilidad sostenible.

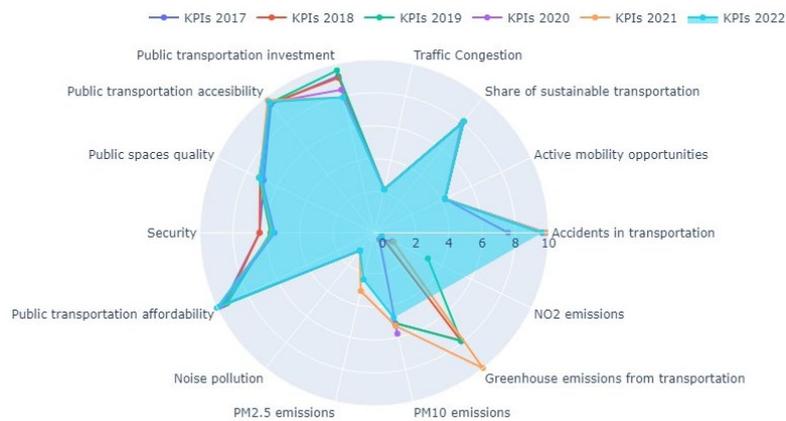
## RESULTADOS

En el marco de la revisión bibliográfica, se han identificado diversos modelos conceptuales para evaluar una ciudad como inteligente o sostenible [1,2,3]. Además, la Comisión Europea ha propuesto métodos como SUMI [4] y Eltis [5]. Estos estudios presentan indicadores clave de rendimiento (KPI) que pueden ser utilizados por los responsables de la gestión urbana para evaluar el estado de sus ciudades, cuantificar los cambios y compararse con otras ciudades, a fin de adoptar políticas similares y abordar desafíos comunes. Acorde con la bibliografía mencionada, se ha seleccionado el plan de Eltis por tres razones fundamentales: (i) los KPI propuestos están directamente relacionados con el estudio de la movilidad en ciudades inteligentes, (ii) los indicadores presentados en una escala del 1 al 10 permiten obtener una visión rápida del estado de la ciudad y facilitan la comprensión del impacto que podría tener la implementación de nuevas medidas en el futuro y (iii) estos indicadores son utilizados frecuentemente en los proyectos sobre ciudades inteligentes en Europa. Asimismo, mediante este enfoque es posible comparar la posición de la ciudad en estudio con otras ciudades que comparten características similares.

El caso de estudio se centra en la ciudad de Barcelona y su conjunto de datos abiertos. Utilizando estos datos, se calculan los KPI propuestos por el método Eltis, los cuales proporcionan indicadores en tres áreas clave: medio ambiente, socioeconomía y transporte. Es imprescindible contar con una base de datos que contenga toda la información necesaria para calcular los indicadores. Por un lado, se emplean los datos abiertos para calcular indicadores como accidentes, inversión en transporte público, asequibilidad y oportunidades de movilidad activa. Por otro lado, se requiere ajustar una serie de indicadores, tales como contaminación acústica, calidad, seguridad, congestión del tráfico, accesibilidad, emisiones de gases de efecto invernadero, emisiones de PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y NO<sub>2</sub>. En cada caso de modificación técnica se establece una escala de evaluación de 0 a 10, donde 0 representa el peor escenario y 10 el mejor, siguiendo

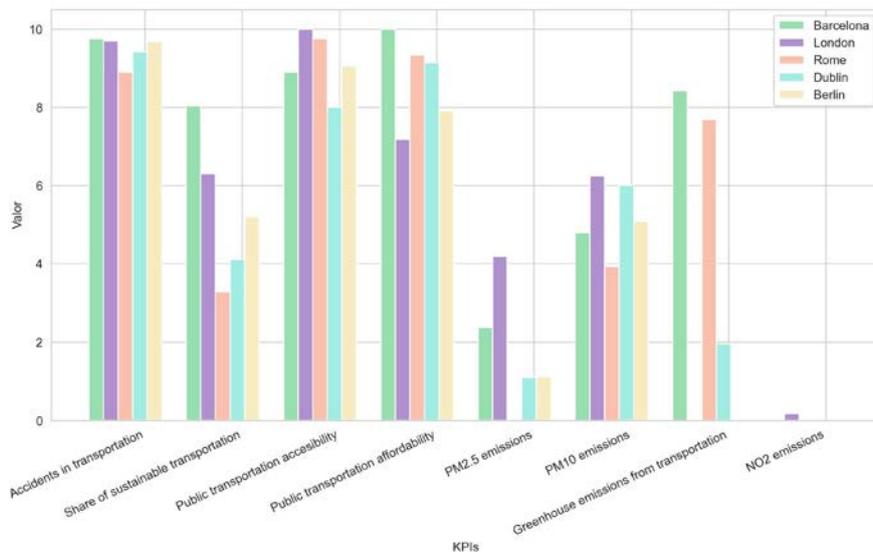
siempre una política de emisiones 0 y ciudades sostenibles. Para complementar el estudio se incluye el KPI de transporte sostenible, indicador utilizado por diversos autores [3,6,7].

En total, se han obtenido 14 KPI para Barcelona: cinco relacionados con el estudio socioeconómico, cuatro referentes al transporte sostenible en la ciudad y los cinco restantes que evalúan aspectos ambientales. Se obtienen los indicadores para un periodo comprendido entre 2017 y 2022 en función de la disponibilidad de los datos en abierto. La representación gráfica de los resultados de los KPI definidos para este estudio, en forma de gráfico de radar (Figura 1), permite visualizar el estado de movilidad sostenible de la ciudad y su evolución a lo largo del tiempo.



**Figura 1.** Gráfico de Radar con los KPIs de movilidad sostenible en la ciudad de Barcelona en el periodo 2017 – 2023.

Este análisis basado en el enfoque de Eltis ofrece una visión integral y comparativa de la sostenibilidad urbana en Barcelona, lo cual resulta de gran utilidad para los responsables de la planificación y gestión urbana en la toma de decisiones informadas y la implementación de políticas eficaces. En la Figura 2 se muestran los valores de KPIs obtenidos de las bases de datos abiertas de diferentes ciudades europeas, donde se pueden comparar el estado de la movilidad sostenible.



**Figura 2.** Gráfico de barras con los KPIs diferentes ciudades europeas.

## CONCLUSIONES

Utilizando la literatura científica existente sobre áreas urbanas inteligentes y sostenibles, este estudio ha identificado los principales indicadores clave de rendimiento (KPI) para evaluar la calidad de los sistemas de movilidad en una ciudad inteligente como Barcelona. Estos KPI se han clasificado en dimensiones socioeconómicas, de transporte y medioambientales. Mediante la adaptación del método Eltis y el análisis de fuentes de datos abiertos, se han calculado los valores de los KPI para Barcelona en un período de tiempo que abarca desde 2017 hasta 2023. En este estudio temporal, se ha podido evaluar diversos aspectos relacionados con los KPI de la ciudad. Sin embargo, es importante destacar la necesidad de contar con datos actualizados, precisos y accesibles para llevar a cabo este tipo de análisis. En algunos casos, se ha encontrado la falta de actualización de ciertos datos en el conjunto de Open Data de la ciudad, lo cual puede limitar la capacidad de cuantificar el impacto de las inversiones a corto plazo. Al extender el análisis a otras ciudades europeas utilizando bases de datos abiertos y los mismos conjuntos de KPI, se han enfrentado dificultades para obtener algunos datos relevantes. Por lo tanto, solo se presentan los indicadores que pueden ser flexibles y replicables en otras ciudades, considerando las limitaciones actuales de las bases de datos disponibles. Este estudio puede servir como una herramienta para comparar políticas adoptadas en otras ciudades inteligentes europeas y mejorar la movilidad de los ciudadanos. En general, se ha observado que el ámbito medioambiental presenta los indicadores más bajos en todas las áreas analizadas. Aunque se han realizado mejoras en otros aspectos de la movilidad, las emisiones atmosféricas siguen siendo demasiado altas, ya que en la mayoría de los casos no se logra cumplir con los umbrales establecidos por la Organización Mundial de la Salud. Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar políticas y acciones más efectivas para abordar los desafíos medioambientales en las ciudades inteligentes. La reducción de las emisiones y la mejora de la calidad del aire deben ser prioridades en la agenda de desarrollo urbano sostenible. Se requiere un enfoque continuo en la recopilación y actualización de datos para respaldar la toma de decisiones informadas en materia de movilidad sostenible.

## REFERENCIAS

- [1] Kourtzanidis, K; Angelakoglou, K; Apostolopoulos, V; Giourka, P; Nikolopoulos, N. (2021). "Assessing impact, performance and sustainability potential of smart city projects: towards a case agnostic evaluation framework". *Sustainability*, 13(13), 7395.
- [2] Inac, H.; Oztemel, E. (2021). "An assessment framework for the transformation of mobility 4.0 in smart cities". *Systems*, 10(1), 1.
- [3] Ntafalias, A.; Papadopoulos, G.; Papadopoulos, P.; Huovila, A. (2022). "A comprehensive methodology for assessing the impact of smart city interventions: evidence from Espoo transformation process". *Smart Cities*, 5(1), 90-107.
- [4] *Set of Indicators SUMI*. <https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport-urban-transport/sumi.en>
- [5] *The Urban Mobility Observatory*. <https://www.eltis.org/mobility-plans/european-platform>
- [6] Al Haddad, C.; Fu, M.; Straubinger, A.; Plötner, K.; Antoniou, C. (2020). "Choosing Suitable Indicators for the Assessment of urban air mobility: A case study of upper Bavaria, Germany". *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 20(4), 214-232.
- [7] Giannopoulos, A. T. (2021). Assessing the impact of case mobility: issues and recommendations from Greece. *Journal of Engineering and Applied Science*, 68(1), 1.

---

**COMUNICACIONES EN POSTER**

---



## Propiedades Acústicas de Hojas de Naranja Trituradas con Aglutinante Natural

Juliá Sanchis, Ernesto <sup>(1)</sup>, Montava Belda, Isaac <sup>(1)</sup>, Segura Alcaraz, Jorge <sup>(1)</sup>, Gadea Borrell, José María <sup>(1)</sup>

(1) Dpto. Mecánica Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universitat Politècnica de València, Pl. Ferrándiz y Carbonell, s/n – 03801 (Alcoy)

e-mail: [erjusan@mes.upv.es](mailto:erjusan@mes.upv.es), [ismonbel@mcm.upv.es](mailto:ismonbel@mcm.upv.es), [jsegura@mcm.upv.es](mailto:jsegura@mcm.upv.es), [jmgadea@mes.upv.es](mailto:jmgadea@mes.upv.es)

### RESUMEN

La creciente preocupación por el uso de materiales sostenibles en la acústica arquitectónica está dando lugar al uso de residuos naturales en la reducción del ruido. La citricultura genera una gran cantidad de residuos, especialmente durante la época de la poda. Las hojas de naranja forman parte de estos residuos de poda. La investigación realizada en esta comunicación se centra en utilizar esas hojas como materiales acústicos.

En el presente trabajo, los residuos de hojas de naranja obtenidos de la poda se unen con un aglutinante biológico para evaluar su capacidad de absorción del sonido mediante la determinación del coeficiente de absorción acústica. Los parámetros que influyen son el espesor, el porcentaje de hojas de naranja, el porcentaje de aglutinante y la porosidad de las muestras.

Los resultados experimentales muestran que las hojas de naranja presentan ciertos rangos de frecuencia con una capacidad absorbente del sonido interesante para plantear estos materiales como alternativa a otros más comúnmente utilizados.

**Palabras clave:** acústica, coeficiente de absorción, naranja, aglutinante natural.

### INTRODUCCIÓN

Los productos de desecho naturales están aumentando su aplicabilidad como materiales alternativos en edificios como absorbentes del sonido sostenibles. El uso de materiales naturales y reciclados para aplicaciones de absorción del sonido es una práctica común hoy en día debido a su bajo impacto ambiental [1]. Se han realizado varios trabajos para investigar la aplicación de la vegetación como absorbentes del sonido [2, 3].

En este sentido, los materiales naturales de proximidad son un campo de estudio atractivo por su disponibilidad. Uno de los trabajos más significativos en el aprovechamiento de los residuos de poda es el realizado por Martellotta *et al.* en el que se investigan los residuos de poda de olivo como absorbentes acústicos [4].

Existe una amplia gama de materiales naturales utilizados como materiales absorbentes del sonido. Entre ellos, se pueden mencionar los trabajos con fibras de cáñamo [5], cañas [6, 7], tifa [8], lana de oveja [9], cáscara de arroz con mortero de cal [10], fibras de kenaf [11], y fibras de piña [12], entre otros.

En el presente estudio se evalúa la capacidad absorbente del sonido de las hojas de naranja trituradas con aglutinante natural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Hojas de naranjo

En la zona mediterránea los naranjos son un cultivo bastante extendido. La poda de los naranjos no es obligatoria, pero sí conveniente para conseguir una cosecha óptima cada año. El naranjo es un árbol de hoja perenne, lo que significa que están disponibles en cualquier época del año. La poda del naranjo reduce la necesidad de quema [13].

### Aglutinante

Para evaluar el rendimiento acústico de estos materiales, las hojas de naranjo secas deben triturarse y mantenerse juntas por medio del aglutinante. Como aglutinante se ha utilizado una bio resina de origen natural.

### Fabricación de las muestras

Las muestras han sido preparadas utilizando un molde circular de 40 mm de diámetro para el ensayo en el tubo de impedancia acústica. Las hojas de naranjo se trituran en un molinillo ("moledora") y luego se pegan con una resina biológica dentro del molde. La Tabla 1 muestra los distintos porcentajes de adhesivo y hojas.

**Tabla 1.** Muestras de hoja de naranjo y adhesivo.

MUESTRAS	Espesor	Hojas (% en peso)	Adhesivo (% en peso)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Hojas sueltas	20 mm	100%		105
	30 mm	100%		115
	40 mm	100%		110
	50 mm	100%		104
	60 mm	100%		112
Hojas con bio resina	20 mm	75%	25%	235
	30 mm	75%	25%	265
	40 mm	75%	25%	220
	50 mm	75%	25%	223
	60 mm	75%	25%	246

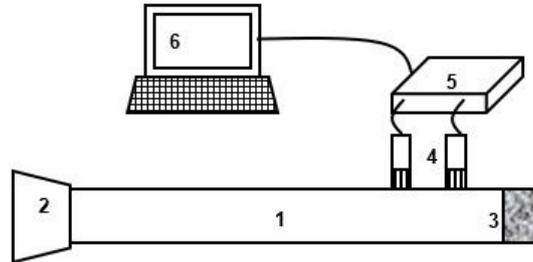
La Figura 1 muestra las hojas de naranjo trituradas con distintos espesores, sin y con resina biológica.



**Figura 1.** Muestras de hojas de naranjo trituradas sin aglutinante (izquierda) y con aglutinante (derecha).

### Medidas en tubo de impedancia acústica

Para determinar el coeficiente de absorción acústica se emplea la técnica experimental basada en el tubo de impedancia acústica a partir de la normativa ISO 10534-2 [14]. La figura 2 muestra el montaje experimental para las mediciones.

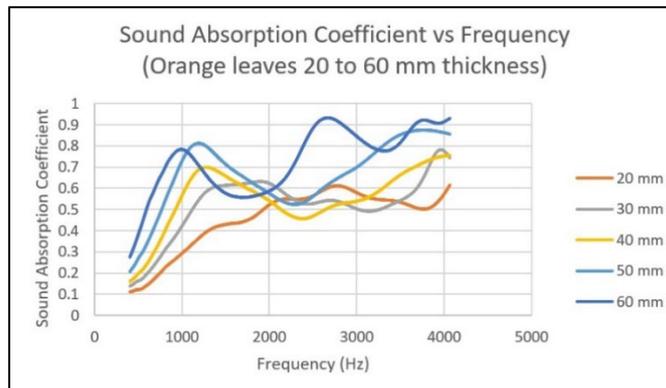


**Figura 2.** Esquema del ensayo del tubo de impedancia acústica.

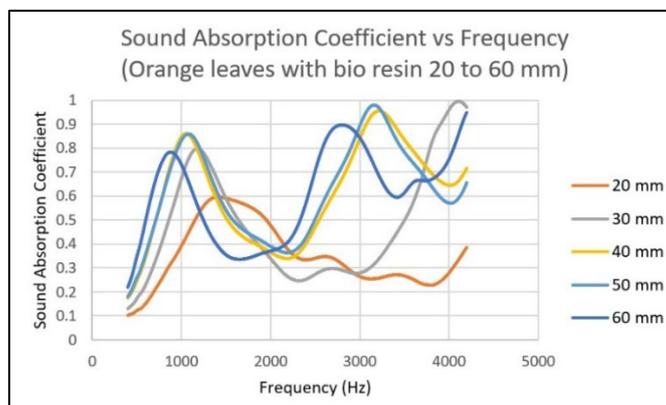
Donde, 1, tubo de impedancia acústica; 2, altavoz; 3, muestra; 4, micrófonos; 5, tarjeta de adquisición de datos; 6, ordenador.

### RESULTADOS

Las Figuras 3 y 4 muestran los coeficientes de absorción del sonido obtenidos para distintos espesores de muestras de hoja de naranjo trituradas sin aglutinante y con aglutinante natural, respectivamente.



**Figura 3.** Absorción acústica de hojas de naranjo trituradas sin aglutinante.



**Figura 4.** Absorción acústica de hojas de naranjo trituradas con bio resina.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirman que en estos materiales se cumple uno de los principios fundamentales de la absorción acústica al observar que con el espesor de las muestras se incrementa la capacidad absorbente del sonido.

También se aprecia que los máximos de absorción ocurren a más bajas frecuencias con el aumento del espesor.

Por otra parte, el efecto de la resina bio no parece tener, en principio, una influencia significativa en los valores más altos de absorción. Se puede concluir que, en general, las muestras con bio resina presentan mayor absorción selectiva en esos valores más altos. El trabajo permite afirmar la posible aplicación de estos materiales, por ejemplo como paneles acústicos, para la absorción del sonido a ciertas frecuencias.

## REFERENCIAS

- [1] Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Schiavoni, S., & Mencarelli, N. (2015). Sound absorption properties of reed. 22nd International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2015.
- [2] Glé, P., Gourdon, E., & Arnaud, L. (2011). Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity. *Applied Acoustics*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.11.003>
- [3] Oldham, D. J., Egan, C. A., & Cookson, R. D. (2011). Sustainable acoustic absorbers from the biomass. *Applied Acoustics*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.12.009>
- [4] Martellotta, F., Cannavale, A., De Matteis, V., & Ayr, U. (2018). Sustainable sound absorbers obtained from olive pruning wastes and chitosan binder. *Applied Acoustics*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.06.022>
- [5] Kinnane, O., Reilly, A., Grimes, J., Pavia, S., & Walker, R. (2016). Acoustic absorption of hemp-lime construction. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.106>
- [6] Asdrubali, F., Schiavoni, S., & Horoshenkov, K. v. (2012). A Review of Sustainable Materials for Acoustic Applications. *Building Acoustics*. <https://doi.org/10.1260/1351-010X.19.4.283>
- [7] Januševičius, T., Mažuolis, J., & Butkus, D. (2016). Sound reduction in samples of environmentally friendly building materials and their compositions. *Applied Acoustics*, 113. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.06.014>
- [8] Moghaddam, M. K., Safi, S., Hassanzadeh, S., & Mortazavi, S. M. (2016). Sound absorption characteristics of needle-punched sustainable Typha /polypropylene non-woven. *Journal of the Textile Institute*, 107(2). <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1016346>
- [9] del Rey, R., Uris, A., Alba, J., & Candelas, P. (2017). Characterization of sheep wool as a sustainable material for acoustic applications. *Materials*. <https://doi.org/10.3390/ma10111277>
- [10] Marques, B., Tadeu, A., Almeida, J., António, J., & de Brito, J. (2020). Characterisation of sustainable building walls made from rice straw bales. *Journal of Building Engineering*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.101041>
- [11] Lim, Z. Y., Putra, A., Nor, M. J. M., & Yaakob, M. Y. (2018). Sound absorption performance of natural kenaf fibres. *Applied Acoustics*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.09.012>
- [12] Putra, A., Or, K. H., Selamat, M. Z., Nor, M. J. M., Hassan, M. H., & Prasetyo, I. (2018). Sound absorption of extracted pineapple-leaf fibres. *Applied Acoustics*. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.01.029>
- [13] Reixach, R., Del Rey, R., Alba, J., Arbat, G., Espinach, F. X., & Mutjé, P. (2015). Acoustic properties of agroforestry waste orange pruning fibers reinforced polypropylene composites as an alternative to laminated gypsum boards. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.041>
- [14] ISO 10534-2:2002 Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedances tubes - Part 2: Transfer-function method. (ISO 10534-2:1998)

## **Estudio bioindicativo de la aclimatación de un fango activado de EDARU a la producción de PHA mediante aguas sintéticas de ácidos grasos volátiles.**

**Rozas Martínez, Javier** <sup>(1)</sup>, **Reig Valor, Miguel Jorge** <sup>(1)</sup>, **López Borrell, Alexis** <sup>(2)</sup>  
**López Pérez, María Fernanda** <sup>(2)</sup>, **Fombuena Borrás, Vicent** <sup>(3)</sup>

*(1) Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante) e-mail: jrozmar@epsa.upv.es*

*(2) Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM), Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante)*

*(3) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante)*

### **RESUMEN**

Debido al abuso y a la mala gestión de los materiales poliméricos en las últimas décadas. Así como a las consecuencias medioambientales que tienen estas prácticas en cuanto a contaminación de suelos, aguas y organismos. Apremia la necesidad de encontrar alternativas sostenibles a la producción de plásticos de origen petroquímico y que, además, sean biodegradables.

En el presente trabajo se ha estudiado la producción bacteriana de polihidroxialcanoatos (PHA) y sus parámetros biocinéticos para diseñar una planta piloto de este mismo proceso. Siendo las bacterias productoras las procedentes de fangos de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR) previamente seleccionadas con un agua residual sintética compuesta de ácidos grasos volátiles (VFA) que simula el agua resultante de la fermentación de las aguas residuales tratadas por la misma EDAR.

Con el fin de determinar el tiempo de aclimatación de los microorganismos productores de PHA a las condiciones de producción a las que se les ha sometido, se ha realizado un estudio de parámetros bioindicativos. Con los resultados obtenidos se podrá determinar el tiempo mínimo que deberán permanecer los fangos activos (FA) sometidos a las condiciones de selección para favorecer la proliferación de las bacterias productoras de PHA.

**Palabras clave:** materiales, biopolímeros, sostenibilidad, EDAR, PHA, planta piloto, diseño, estudio económico.

### **INTRODUCCIÓN**

La creciente preocupación social por el problema medioambiental que supone el vertido de residuos plásticos al medio, junto con la voluntad a nivel global de reducir el impacto medioambiental, está conduciendo a promover el uso de biopolímeros que sean de origen renovable y biodegradables.

Debido a esto, se precisan de nuevos métodos de producción de biopolímeros que los hagan más atractivos a nivel económico para lograr reducir el uso de los plásticos de origen petroquímico.

Aunque existen métodos de producción de PHA mediante bacterias genéticamente modificadas aplicados a nivel global y ampliamente estudiados [1], se busca reducir en

estas producciones el máximo impacto medioambiental posible aplicando la economía circular y contribuyendo a diversos objetivos de desarrollo sostenible (ODS) utilizando residuos de EDAR como las corrientes de salida de los reactores de acidificación de las líneas de tratamiento de fangos [2].

En el trabajo del que forma parte el estudio bioindicativo aquí presentado, se ha logrado producir PHA a partir de residuos de EDAR. Por tanto, se ha conseguido demostrar la posibilidad de producir dicho polímero a la vez que se revalorizan estos residuos de EDAR. Además, este modelo productivo ayudaría a conseguir ciertos ODS tales como el 8 “Trabajo decente y crecimiento económico”, el 9 “Industria, innovación e infraestructura” o el 12 “Producción y Consumo Responsables”.

La forma de implantar este tipo de procesos pasa por su comprensión y optimización. Por tanto, se precisa conocer los tiempos de adaptación de los FA procedentes del reactor de la EDAR a las condiciones óptimas de producción de PHA y de selección de los microorganismos productores de dicho biopolímero.

Esto hace al estudio de los parámetros bioindicativos el método indicado para comprobar la evolución y estado de los FA en el reactor, y para determinar el tiempo de aclimatación [3]. Siendo el método analítico que permitirá la posterior optimización del proceso.

## OBJETIVOS

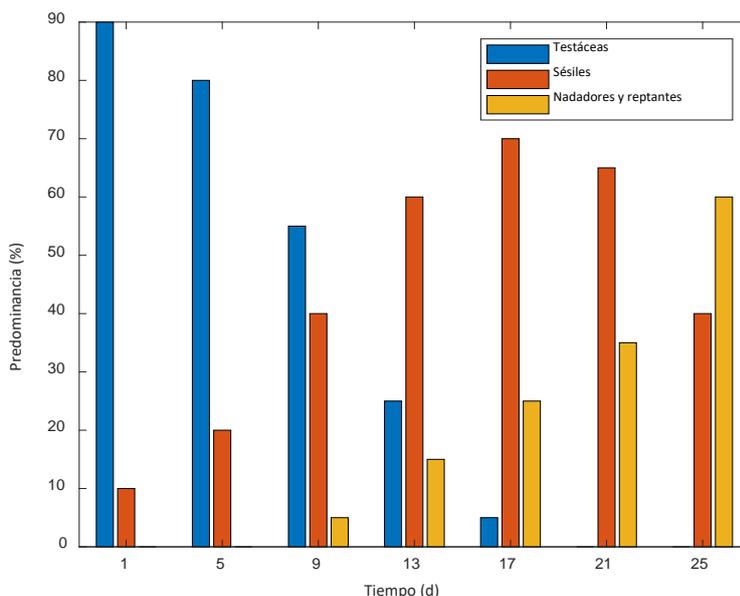
El objetivo principal del estudio bioindicativo de los FA usados para el estudio del proceso de producción de PHA durante su fase de selección microbiana es el de determinar el tiempo mínimo al que se deben someter dichos FA a las condiciones de selección microbianas. Caracterizadas estas condiciones por el alto contenido en VFA del sustrato junto con la aplicación de ciclos de saciedad/hambruna en una ratio de 0.3 y condiciones de aireación durante la totalidad de dichos ciclos.

## RESULTADOS

Para entender el análisis bioindicativo que se procede a realizar, es necesario conocer que, en la EDAR de donde se han recolectado los FA, se sigue una línea de tratamiento con FA que consta de una fase anóxica seguida de una fase aerobia para producir una nitrificación/desnitrificación del agua residual con la finalidad de reducir la cantidad de nitrógeno disuelto en forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ).

Esta condición de procedencia de los FA usados en este proyecto implica una fauna protozoaria presente en el mismo muy distinta a la que se tendrá una vez dichos FA estén aclimatados a las condiciones de aireación permanente a las que se someterán en el proceso de producción de PHA. Adicionalmente, el cambio de otros factores como el de la alimentación o el tiempo de retención celular (TRC) también provocará cambios sensibles en los microorganismos presentes en los FA.

Por tanto, el estudio bioindicativo de la fauna microscópica presente en los FA dará una estimación temporal para el paso de la fase de selección a la de acumulación de PHA. Con el fin de mostrar gráficamente este tiempo de adaptación de los FA a las condiciones de los biorreactores estudiados, se proporciona una representación de la evolución de las especies de microorganismos predominantes en los FA en la Figura 1.



**Figura 1.** Evolución de las especies dominantes de microorganismos en los FA.

En cuanto a los cambios observados en esta adaptación de los FA a la nueva alimentación y a la aireación continuada, se aprecia una clara transición desde la fauna protozoaria inicial a la presente en el FA ya adaptado. Inicialmente, se encuentran protozoos típicos de los procesos de nitrificación/desnitrificación como pueden ser las amebas testáceas. Microorganismos concordantes con las condiciones dadas en la EDARU de Alcoy, y que indican de forma general buenos rendimientos de depuración y las condiciones de nitrificación ya descritas.

Sin obviar la predominancia de estas amebas, inicialmente también se podían encontrar otros protozoos como sésiles bacterívoros u otras especies, aunque en menor cantidad con respecto a las testáceas. La aparición de este tipo de microorganismo en densidades poblacionales bajas indica condiciones cambiantes en el reactor, lo que concuerda perfectamente con esta primera fase de selección llevada a cabo. Posteriormente, cuando las densidades más elevadas indican condiciones de buena aireación y funcionamientos estables del reactor.

Posteriormente, con el paso de los ciclos añadiendo al medio la alimentación basada en VFA y aplicando una aireación constante, se observó un decrecimiento en el número de amebas testáceas para dar paso a otros microorganismos. Siendo éstos sésiles bacterívoros y protozoos nadadores y reptantes.

Por un lado, la aparición de ciertas especies de nadadores puede indicar estados transitorios de los FA. No obstante, su aparición de forma predominante, como ocurre con la aclimatación de los FA, indica cargas orgánicas medias en el reactor. Lo que concuerda con la concentración de oxígeno relativamente elevada durante la fase de alimentación.

Por otro lado, los microorganismos de tipo reptante indican buenas calidades de FA y de efluente tratado [4]. Por tanto, se puede afirmar que la aclimatación ha sido satisfactoria con la aparición de estos microorganismos.

Adicionalmente, debido a los altos TRC del reactor de selección en comparación a los que se puedan encontrar en una EDAR, se encontraron en el FA otras especies como los nematodos. Otras fluctuaciones en los caudales de aireación de los reactores produjeron, en algún momento, elevadas tasas de aireación, y éstas tasas junto con los elevados TRC condujeron a la aparición de otros organismos de mayor tamaño como ácaros. A la vista de los resultados obtenidos, se apreció una aclimatación del FA de alrededor de 50 ciclos en función del análisis bioindicativo. Lo que corresponde a unos 25 días aproximadamente.

## CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se han llegado tras el estudio de parámetros bioindicativos son claras. Indicando una aclimatación de los FA a las condiciones de producción de PHA de alrededor de 25 días.

Se ha visto que el inicio a la aclimatación pasa por la pérdida de los microorganismos indicadores de procesos de nitrificación/desnitrificación. Por tanto, el primer cambio observable es el de la caída de la población de amebas testáceas. Seguidamente, el aumento de los individuos de sésil confirma las condiciones de buena aireación e inicio de la estabilización de dichas condiciones del reactor.

Finalmente, la predominancia de los protozoos de tipo nadador y reptador en el FA, indica el final en el proceso de aclimatación de dichos FA a las condiciones buscadas de producción de PHA. Asumiendo así que las bacterias productoras de PHA han sido seleccionadas y se ha favorecido su reproducción en detrimento de otras especies.

Determinada la evolución seguida por los microorganismos en su adaptación a las condiciones de producción de PHA, se podrá proceder en futuros estudios a la optimización de la fase de selección de microorganismos productores de PHA variando concentraciones de sustrato y biomasa en el reactor, o cambiando la ratio de saciedad/hambruna para intentar reducir el TRC para la selección de dichas bacterias.

## REFERENCIAS

- [1] Wei, Yu-Hong; Chen, Wei-Chuan; et al. (2011). "Screening and Evaluation of Polyhydroxybutyrate-Producing Strains from Indigenous Isolate *Cupriavidus taiwanensis* Strains". *International Journal of Molecular Sciences*, v. 12, p.p. 252-265.  
<https://doi.org/10.3390/IJMS12010252>
- [2] Bengtsson, Simon; Karlsson, Anton; et al. (2017). "A process for polyhydroxyalkanoate (PHA) production from municipal wastewater treatment with biological carbon and nitrogen removal demonstrated at pilot-scale". *New Biotechnology*, v. 35, p.p. 42-53.  
<https://doi.org/10.1016/J.NBT.2016.11.005>
- [3] Foissner, Wilhelm. (2016). "Protists as bioindicators in activated sludge: Identification, ecology and future needs". *European Journal of Protistology*, v. 55, p.p. 75-94.  
<https://doi.org/10.1016/J.EJOP.2016.02.004>
- [4] Pérez-Uz, B., Serrano, S., Arregui, L., Calvo, P., y Guinea, A. (2008). "Protozoos. Identificación de Protistas en EDAR". *Manual Práctico para el Estudio de Grupos Bioindicadores en Fangos Activos*. Lugar de publicación: Madrid. Editado por: Reed Bussisness Information-Tecnología del Agua, pp. 42-53.

## Desarrollo de materiales compuestos sostenibles de polietileno de alta densidad reciclado y cáscaras de granos de cacao

Sempere, Jaume<sup>(1)</sup>, Daniel Latorre<sup>(2)</sup>, Harrison de la Rosa-Ramírez<sup>(3)</sup>, M<sup>a</sup> Dolores Samper<sup>(4)</sup>

*Instituto Universitario de Tecnología de Materiales (IUTM), Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n. 03801, Alcoy (Alicante),*

(1) [jausemto@upv.es](mailto:jausemto@upv.es)

(2) [dalaqu@upv.es](mailto:dalaqu@upv.es)

(3) [hardela@upv.es](mailto:hardela@upv.es)

(4) [masammad@upv.es](mailto:masammad@upv.es)

### RESUMEN

En este trabajo se han realizado materiales compuestos utilizando como matriz polietileno de alta densidad reciclado proveniente de tapones de botellas de agua y como refuerzo cascarilla de granos de cacao triturados en diferentes porcentajes. La incorporación de las cascarilla disminuye las propiedades mecánicas, sobre todo las dúctiles. Sin embargo, la cascarilla tiene una alta influencia en las propiedades térmicas de rHDPE, ya que aumenta la cristalinidad del material y aumenta la temperatura de degradación hasta en 40 °C gracias a las propiedades antioxidantes de la cascarilla de grano de cacao.

**Palabras clave:** HDPE, reciclado, material compuesto, residuos vegetales.

### INTRODUCCIÓN

La gran demanda de materiales plásticos en las últimas décadas, sobre todo aquellos con un ciclo de vida muy corto, está contribuyendo de forma alarmante a la contaminación ambiental. En respuesta a estos problemas, uno de los objetivos de la Unión Europea es la economía circular y el aumento del reciclado de productos plásticos. Sin embargo, uno de los problemas del material plástico reciclado es la pérdida de propiedades debido al procesado y degradación del material. Para mitigar esta pérdida de propiedades se puede optar por el uso de aditivos, la utilización de mezclas con otros plásticos o la fabricación de materiales compuestos.

Además de la utilización como cargas, las sustancias naturales han adquirido un amplio interés por su capacidad antioxidante y antibacteriana [1]. Una de estas sustancias es la cascara de granos de cacao (CGC) que posee una elevada cantidad de polifenoles, fibras, teobromina y otros antioxidantes [1, 2], estas características lo hacen interesante como aditivo y carga en productos plásticos.

### OBJETIVOS

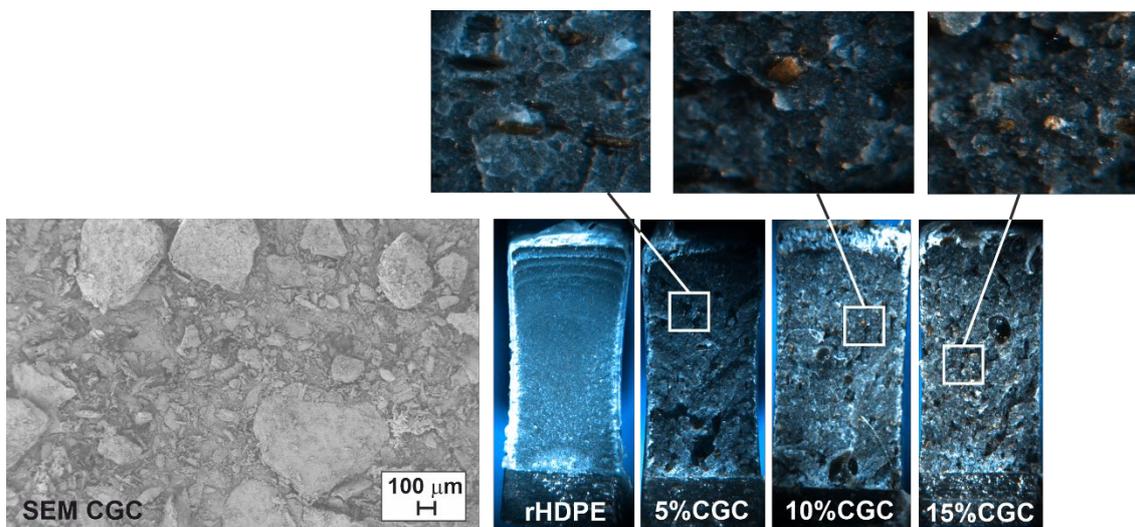
Los objetivos del presente trabajo es la obtención de materiales compuestos utilizando como matriz polietileno de alta densidad reciclado proveniente de tapones de botellas de agua y 5, 10 y 15% en peso de CGC triturada en un molino ultracentrífugo de Restsch GmbH con tamiz de 250 µm a 6500 rpm. Estos materiales fueron obtenidos mediante extrusión-inyección en una microextrusora cónica DSM Xplore con un perfil de

temperatura 180-185-190 °C y se estableció una velocidad de husillo a 25 rpm. Todas las formulaciones se procesaron en las mismas condiciones y permanecieron en el cilindro mezclándose durante 3 minutos.

Los materiales obtenidos fueron caracterizados mediante ensayo de tracción a una velocidad de 10 mm/min y una célula de carga de 10 kN, impacto Charpy con un péndulo de 6 J y a las probetas se les realizó una entalla normalizada. La caracterización térmica se realizó mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC) desde 30 a 300 °C con una velocidad de calentamiento de 20 °C/min en atmósfera de oxígeno y el grado de cristalinidad ( $X_c$ ) se determinó a partir de la entalpía de fusión ( $\Delta H_m$ ), que se determinó mediante la integración del pico de fusión de las curvas DSC, la  $X_c$  se calculó mediante  $X_c = 100 \cdot (\Delta H_m / (w_p \cdot \Delta H_c))$ , donde  $\Delta H_c$  (286,7 J/g) es la entalpía de fusión de una muestra 100% cristalino [3] y  $w_p$  es la fracción de masa de rHDPE del material.

## RESULTADOS

Las partículas de CGC trituradas se pueden observar en la imagen SEM de la Figura 1, se puede apreciar que las partículas de mayor tamaño se sitúan entre 200-300  $\mu\text{m}$ . En cuanto a la dispersión de las CGC en la matriz de rHDPE se puede apreciar en la figura 1 en las imágenes tomadas con la lupa, se aprecia una mayor cantidad de partículas conforme aumenta la cantidad de CGC y una buena dispersión. Sin embargo, se aprecia una falta de interacción entre la matriz y las partículas que afectará a las propiedades mecánicas.



**Figura 1.** Imágenes de a) YMN a x100 y b) BTNs a x50.

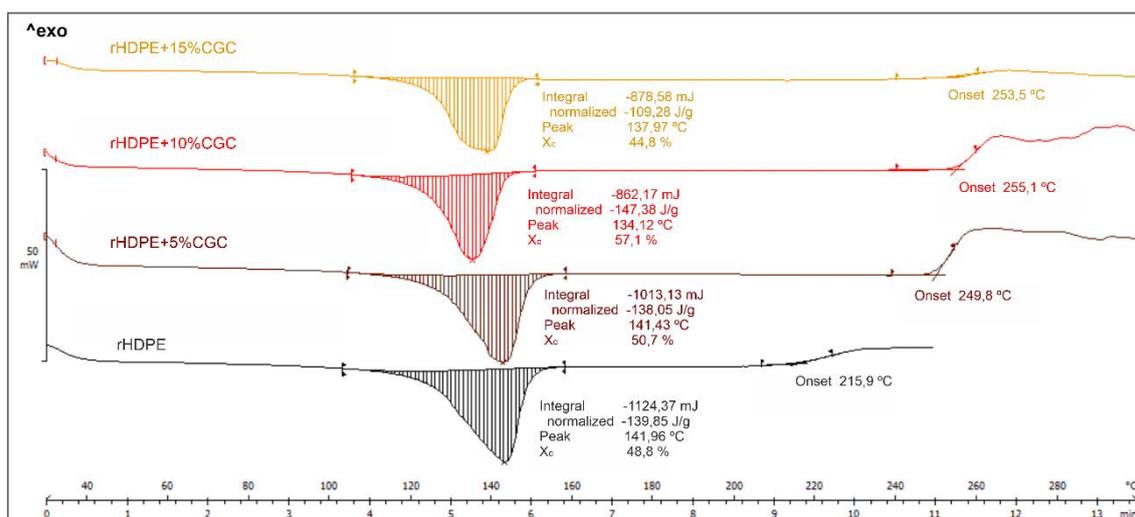
En lo que respecta a los resultados del ensayo de tracción (tabla 1), se puede apreciar que la resistencia máxima disminuye al incorporar los diferentes porcentajes de CGC, sin embargo al incrementar el contenido de carga la resistencia aumenta por el efecto de refuerzo de la carga. Además, las propiedades dúctiles se ven más afectadas con la incorporación de la carga, ya que el rHDPE presenta un alargamiento a la rotura de un 590 % y esta propiedad disminuye drásticamente con la incorporación de la CGC hasta un alargamiento a la rotura del 162% para el material con un 15% de CGC. La energía que es capaz de absorber el material al impacto Charpy también disminuye desde 8,54 kJ/m<sup>2</sup> para la muestra rHDPE hasta 6,07 kJ/m<sup>2</sup> de la muestra con un 15% de CGC, sin

embargo la pérdida de esta propiedad es paulatina y para bajos porcentajes de carga es insignificante.

**Tabla 1.** Propiedades mecánicas de los materiales compuestos desarrollados.

Muestra	Resistencia máxima (MPa)	Alargamiento a la rotura (%)	Energía absorbida al impacto (kJ/cm <sup>2</sup> )
rHDPE	27,4 ± 1,2	590 ± 106	8,54 ± 0,55
rHDPE-5%CGC	23,5 ± 0,7	218 ± 76	8,22 ± 0,33
rHDPE-10%CGC	24,5 ± 0,6	252 ± 92	7,17 ± 0,18
rHDPE-15%CGC	25,3 ± 0,7	162 ± 33	6,07 ± 0,36

Las propiedades térmicas obtenidas mediante DSC de los materiales desarrollados se pueden observar en la figura 2. La temperatura de fusión del rHDPE se sitúa en 141,96 °C, temperatura típica de un HDPE y no se observa ningún otro pico de fusión que nos indique que el material reciclado está contaminado con otro plástico semicristalino. Al añadir la carga CGC la temperatura de fusión permanece constante en 141 °C hasta el 5% de carga, para contenidos de carga mayores, la temperatura de fusión disminuye alrededor de 5 °C. Otro efecto que se puede apreciar al incorporar la carga de CGC es que la cristalinidad aumentó con contenidos hasta el 10% de CGC, ya que la muestra rHDPE presenta una cristalinidad de 48,8% y esta aumenta hasta 57,1% para cargas del 10%, este fenómeno puede ser debido a que las partículas de CGC actúan como agente nucleante mejorando la cristalinidad. Sin embargo, contenidos mayores del 10% disminuyen la cristalinidad. Además, gracias a la actividad antioxidante de la CGC la temperatura de degradación del rHDPE se retrasa considerablemente, desde los 215,9 °C del rHDPE hasta alcanzar los 255,1 °C del material con un 10% de CGC, como anteriormente, la muestra con un 15% de CGC presenta un valor de degradación inferior a la muestra con 10% de CGC.



**Figura 2.** Gráfico calorimétrico de los materiales compuestos desarrollados.

## CONCLUSIONES

El triturado de la cascarilla de grano de cacao se realiza fácilmente y se obtienen partículas de tamaño menor a 25 µm. La dispersión de las partículas de CGC en la matriz rHDPE es correcta, sin embargo se observa una mala adhesión entre la fibra y la carga. Esta falta de interacción disminuye las propiedades mecánicas del material, tanto resistentes como dúctiles, aunque con un 15% de CGC el material sigue presentando una alta capacidad de alargamiento a la rotura, 162 %. Con el fin de mejorar la interfase matriz-refuerzo y mejorar así la interacción entre ambas fases y consecuentemente las propiedades mecánicas, sería necesario modificar superficialmente las partículas de CGC.

La elevada cantidad de polifenoles y otros antioxidantes en las partículas de CGC tiene un efecto positivo en la temperatura de degradación del rHDPE, ya que se consigue retrasar la degradación alrededor de 40°C. Además, las partículas de cascarilla de cacao actúan como agente nucleante y mejoran la cristalinidad del rHDPE hasta formulaciones del 10% de CGC.

Por tanto, los resultados muestran que una carga como máximo del 10% de CGC proporciona propiedades antioxidantes interesantes en el reciclado de HDPE. Sin embargo, para mejorar las propiedades mecánicas del material resultante sería conveniente modificar superficialmente la carga CGC o utilizar un compatibilizante para mejorar la adhesión de rHDPE y las partículas de CGC.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto de I+D+i financiado por el programa de investigación ADSEIDEO-Cooperación de la Universitat Politècnica de València AD2121.

## REFERENCIAS

- [1] Nsor-Atindana, J., Zhong, F., Mothibe, K. J., Bangoura, M. L., Lagnika, C. (2012). "Quantification of total polyphenolic content and antimicrobial activity of cocoa (Theobroma cacao L.) bean shells". *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(7), p.p. 6.
- [2] Papadopoulou, E. L., Paul, U. C., Tran, T. N., Suarato, G., Ceseracciu, L., Marras, S., d'Arcy, R., Athanassiou, A. (2019). "Sustainable active food packaging from poly (lactic acid) and cocoa bean shells". *ACS applied materials & interfaces*, 11(34), p.p. 11.
- [3] Pelto, J., Verho, T., Ronkainen, H., Kaunisto, K., Metsäjoki, J., Seitsonen, J., Karttunen, M. (2019). "Matrix morphology and the particle dispersion in HDPE nanocomposites with enhanced wear resistance". *Polymer Testing*, 77, p.p. 9.

## Sistema de ciclo cerrado para reutilizar agua de la industria textil, y rutas para valorizar fragmentos fibrosos dispersos en el agua

Calvo, Óscar<sup>(1)</sup>, Cappelli, Luca<sup>(1)</sup>, Albert, Vicente<sup>(2)</sup>, Puchol, Victoria<sup>(2)</sup>, Pizarro, Manuel<sup>(3)</sup>

(1) (G.I. en Eco-procesos, Cosmética y Salud. Área I+D, AITEX – Research & Innovation Center, Plaza Emilio Sala, 1, 03801 Alcoi, Alacant, España, [ocalvo@aitex.es](mailto:ocalvo@aitex.es))

(2) (Departamento I+D, Jeanologia S.L. Ronda G. Marconi, 12, 46980 Paterna, Valencia, España, [vpuchol@jeanologia.com](mailto:vpuchol@jeanologia.com))

(3) (Departamento de I+D, Pizarro S.A., Rua das Agrads, Aprt. 444, 4805-023 Guimarães, Portugal, [geral@pizarro.p](mailto:geral@pizarro.p))

### RESUMEN

La escasez de agua es uno de los efectos negativos más serios del cambio climático. Muchas zonas húmedas europeas están en riesgo de no cumplir con el objetivo que marca la Directiva Marco del Agua de alcanzar y mantener un buen estado en la calidad y cantidad del agua disponible. Además, diferentes procesos industriales que utilizan el agua como principal recurso, así como los vertidos de aguas residuales industriales (p.ej. cerámica, acabados textiles, metalurgia, alimentación, papel) presionan continuamente el estado de las masas de agua y el medio ambiente en general.

En la industria textil y los procesos de acabado, combinar varias tecnologías de tratamiento puede proporcionar una solución innovadora y eficaz, para regenerar y reutilizar agua *in-situ* en dichos procesos. Este nuevo concepto de reutilización de agua en ciclo cerrado descrito aquí se integra perfectamente en el proceso productivo, siendo capaz de reducir el consumo de agua en un 92% y la generación de aguas residuales en un 98%, comparado con procesos convencionales de acabado textil en prenda, evitando igualmente las descargas masivas de contaminantes emergentes, microfibras y patógenos. Para los fragmentos fibrosos recuperados del sistema varios usos finales, desde el prisma de la Economía Circular, pueden ser implementados.

**Palabras clave:** Agua residual, acabados, prendas, ciclo cerrado, descarga cero, fragmentos fibrosos.

### INTRODUCCIÓN

La escasez de agua es uno de los efectos negativos más serios del cambio climático. Muchas masas de agua están en riesgo de no cumplir con el objetivo que marca la Directiva Marco Europea del Agua de alcanzar y mantener un buen estado en la calidad y cantidad del agua disponible [1]. Además, la producción y vertidos de aguas residuales continúan ejerciendo presiones importantes a dichas masas de agua, desde el punto de vista ecológico, de la calidad y la cantidad de agua disponible. La presencia continua de diversos contaminantes en ciertas zonas de agua dulce de Europa amenaza los ecosistemas acuáticos y genera preocupación en la salud pública.

La sobreexplotación de los recursos da lugar a desequilibrios en la demanda y disponibilidad de agua, alterando también ecosistemas. En toda la Unión Europea (UE),

la escasez de agua y las sequías han aumentado drásticamente en las últimas décadas y es probable que se vuelvan más frecuentes y graves en el futuro [2] (Tabla 1).

**Tabla 1.** Principales problemas en el escenario europeo del agua.

<b>Contaminación difusa. Afecta:</b>	<b>Demanda de agua en Europa:</b>	<b>La escasez de agua es un problema:</b>	<b>Relación con el cambio climático:</b>
90% de cuencas fluviales	Creciente	En el 11% de la UE	Efectos y costes crecientes (60%)
50% de las aguas superficiales	No se estabilizará hasta el 2050	Y alcanzará el 30% en 2030	Inundaciones
33% de acuíferos de la UE	Alrededor de 1.000 km <sup>3</sup> /año		Sequías

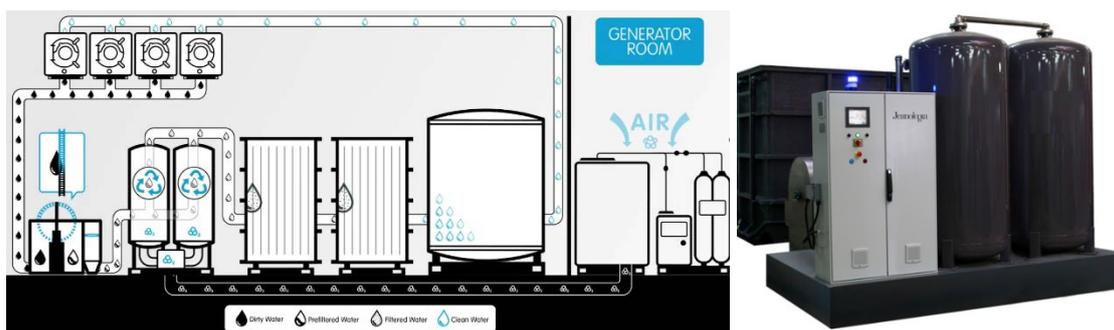
La fabricación de textiles es una de las industrias a nivel mundial, también a nivel de la UE, que dependen en gran medida del agua, especialmente en aquellos procesos en relación directa con las actividades de tintura, estampación, acabado y lavado. Es una industria de consumo intensivo de agua, y que utiliza unos 93.000 millones de m<sup>3</sup>/año (4% del consumo total mundial de agua), y que sería equivalente y suficiente para satisfacer las necesidades de cinco millones de personas [3]. Por todo ello, cualquier contribución de la industria enfocada al ahorro y recuperación de agua, así como al tratamiento y reutilización de aguas residuales debe ser considerada como de interés, además de considerar los Objetivos de Desarrollo Sostenible descritos por Naciones Unidas así como políticas de la UE como el Green Deal o la Estrategia de la UE sobre los Productos Textiles Sostenibles y Circulares [4].

## OBJETIVOS

En este marco, el proyecto LIFE ANHIDRA busca contribuir de forma significativa a aumentar el perfil sostenible de las empresas textiles, específicamente aquellas dedicadas a los acabados textiles, tanto de tejido como de prenda confeccionada. En este proyecto se desarrolla un demostrador, instalado a escala industrial en una empresa de acabado y lavado textil de Portugal (Pizarro S.A., Guimarães), que se basa en un sistema piloto de circuito cerrado que trata el agua, dejándola en condiciones óptimas para su reutilización en dichos procesos de acabado (p.ej. suavizado) y lavado sin necesidad de productos químicos adicionales que traten el agua de entrada.

Varios módulos y tecnologías de tratamiento están integrados en este sistema, para reducir el consumo de agua y ofrecer la mejor productividad y rendimiento, con el mínimo consumo eléctrico posible en un centro de fabricación textil y acabado de prendas. Además, se plantean varias rutas de valorización de fragmentos fibrosos emitidos durante los ciclos de lavado, que se separan y recuperan en diferentes partes del sistema de ciclo cerrado.

El sistema de ciclo cerrado (Figura 1) toma su estructura principal del concepto H2Zero del líder del proyecto Jeanologia S.L. (Paterna, Valencia, España), e incluye un módulo primario que promueve una separación mediante medios filtrantes mecánicos, proporcionando una separación de sólidos “gruesos” (componentes y fornituras que puedan separarse accidentalmente de las prendas, hilos, acumulaciones de fibras) y favoreciendo que esta agua prefiltrada llegue en un estado adecuado para su oxidación y tratamiento mediante el uso de ozono.



**Figura 1.** Representación esquemática del sistema de ciclo cerrado para el tratamiento y reutilización del agua (izquierda) y algunos de los módulos actuales implementados en el sistema (derecha).

Tras este módulo, se sitúa un tanque de “agua sucia”, donde se acumula el agua a tratar, sin sólidos de gran tamaño, y que de forma continua va inyectando su contenido hacia el tanque de tratamiento y de generación de ozono. Dicho sistema de tratamiento con ozono tiene capacidades de recirculación y cuenta con un filtro catalizador. La ozonización se ha aplicado en el tratamiento del agua potable durante décadas y en los últimos años se ha ampliado al tratamiento de aguas residuales [5].

A la salida de este, un tercer módulo, donde el flujo de agua se traslada a sistemas de filtración avanzados específicos basados en membranas [6] de diferente tamaño de poro y capacidad de filtración, con el fin de alcanzar una calidad adecuada para su reutilización en procesos de acabado y lavado textil. Por último, un tanque que acumula el agua tratada y lista para ser inyectada de nuevo en el sistema de consumo de agua de la empresa, completa el sistema LIFE ANHIDRA de ciclo cerrado para reutilizar agua de la industria textil, en el lavado de prendas, y sin descargas.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### Eficiencia del sistema

El tratamiento, a escala piloto, de aguas residuales provenientes de procesos de acabado y lavado textil con esta tecnología, brinda resultados prometedores en términos de ahorro de agua, no solo en lo que se refiere al consumo de este recurso, sino también en lo que se refiere al volumen de agua residual vertida a la corriente principal, resultados que incluso se mejorarán en la instalación a escala industrial. El sistema actual es capaz de almacenar, recircular y reutilizar su propia agua en estos términos:

- Funciona al mismo tiempo con 4 lavadoras conectadas.
- Las principales etapas de regeneración del agua están basadas en filtración mecánica y ozonización.
- Eliminación de productos químicos de alto consumo utilizados en lavandería: detergentes, desencolantes, suavizantes y enzimas.
- Consumo de agua un 99% menos (de 20L por prenda a 0,1L) en comparación con un proceso convencional sin integración del sistema de ciclo cerrado.
- Misma reutilización de agua durante 20 - 30 días en procesos básicos de lavado.

Y los resultados esperados de este sistema cuando se actualice a escala industrial, en el marco del proyecto LIFE ANHIDRA son los siguientes:

- Capaz de trabajar con hasta 20 lavadoras conectadas.
- Las principales tecnologías integradas para regeneración del agua, incluyen procedimientos de filtración mecánica, ozonización, ultrafiltración y autolimpieza.
- El volumen de agua residual generada se reducirá en un 98% (con una capacidad de tratamiento de 15 m<sup>3</sup>/h) y el consumo de agua hasta en un 92%. Igualmente, se espera reducir el consumo de energía eléctrica en un 15%.
- Misma reutilización de agua durante 60 días.

### Rutas de valorización de fragmentos fibrosos

Además, se explora la valorización de residuos fibrosos recuperados por el sistema, bajo un enfoque básico de economía circular, siendo separados o filtrados por el sistema, y caracterizándolos antes de investigar su potencial procesabilidad para diferentes usos. En este punto, AITEX (Alcoi, Alacant, España) interviene para determinar la viabilidad de procesado y potencial uso en:

- Paneles aislantes de tipo no tejido.
- Carga o refuerzo para resinas poliméricas termoplásticas o en base acuosa [7].
- Procesos de reciclado químico [8].

Los autores agradecen al Programa LIFE (LIFE2027) de la Comisión Europea su apoyo y financiación del proyecto, bajo el Grant Agreement 101074372.

### REFERENCIAS

- [1] European Union. 2000 Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities*
- [2] Water Europe, PNO. 2017 The Value of Water - Multiple Waters for Multiple Purposes and Users (1), 8–9.
- [3] Ellen MacArthur Foundation. 2017 A new textiles economy: Redesigning fashion's future (Part I), 38.
- [4] Bernstein, M.J., Franssen, T., Smith, R.D.J., de Wilde, M. 2023 The European Commission's Green Deal is an opportunity to rethink harmful practices of research and innovation policy. *Ambio* 52, 508–517.
- [5] Lim, S., Jiaming L.S., von Gunten, U., McCurry, D.L. 2022 Ozonation of organic compounds in water and wastewater: A critical review. *Water Research* 213(2022), 118053.
- [6] Ezugbe, E.O., Rathilal, S. 2020 Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review. *Membranes* 10(5), 89.
- [7] Gan, L., Guo, H., Xiao, Z., Jia, Z., Yang, H., Sheng, D., Pan, H., Xu, W., Wang Y. 2019 Dyeing and Characterization of Cellulose Powder Developed from Waste Cotton. *Polymers* 11 (2019), 1982.
- [8] M. Hong, M., Eugene, Y., Chen, X. 2017 Chemically recyclable polymers: a circular economy approach to sustainability. *Green Chem.* 19(2017), 3692-3706.

## Nuevos recubrimientos para diferentes sectores industriales: soluciones con PFAS vs soluciones PFAS-free para textiles

Calvo, Óscar<sup>(1)</sup>, Pérez, Juan Jesús<sup>(1)</sup>, Sirvent, Eliana<sup>(1)</sup>, Seif, Johannes P.<sup>(2)</sup>, del Real Torres, Alejandro<sup>(2)</sup> – en nombre del consorcio PROPLANET

(1) G.I. en Eco-procesos, Cosmética y Salud. Área I+D, AITEX – Research & Innovation Center, Plaza Emilio Sala, 1, 03801 Alcoi, Alacant, España, [ocalvo@aitex.es](mailto:ocalvo@aitex.es)

(2) IDENER Research & Development AIE, Earle Ovington 24-8, 41300 La Rinconada, Sevilla, España, [johannes.seif@idener.es](mailto:johannes.seif@idener.es)

### RESUMEN

Los PFAS (derivados perfluoroalquil- y polifluoroalquil-) son compuestos que se utilizan ampliamente en varios productos y aplicaciones. Esto incluye, por ejemplo, recubrimientos repelentes al aceite y al agua para textiles, recubrimientos antiadherentes para embalaje y maquinaria de envasado, recubrimientos antisuciedad y antirreflectantes para vidrio, cosméticos y materiales de construcción. Sin embargo, estos llamados “forever chemicals”, por su persistencia, son peligrosos para la salud humana ya que no se descomponen en condiciones normales, lo que lleva a su acumulación en el medio ambiente y finalmente, vía ingesta de agua y alimentos contaminados, terminan en humanos y otros organismos. Por los daños sobre la salud, los PFAS pronto serán prohibidas, a pesar de no haber encontrado todavía alternativas técnicas que los sustituyan.

El proyecto PROPLANET, financiado con fondos europeos, tiene como objetivo abordar este problema mediante el desarrollo de materiales novedosos que puedan reemplazar los PFAS sin sacrificar la funcionalidad o el rendimiento, teniendo en cuenta aspectos económicos, de reciclabilidad y de circularidad. PROPLANET sigue el concepto de seguridad y sostenibilidad por diseño (SSbD) e investigará y validará materiales para recubrimientos en: (1) textiles, (2) equipos de envasado de alimentos y (3) vidrio de fácil mantenimiento.

**Palabras clave:** Hidrorepelencia, oleorepelencia, PFAS, flúor, textiles, acabados, recubrimientos.

### INTRODUCCIÓN

Las sustancias per- y polifluoroalquiladas (PFAS) son un amplísimo grupo de compuestos totalmente sintéticos que, químicamente, consisten en una cadena alquílica hidrofóbica de longitud variable total o parcialmente fluorada. Presentan una elevada estabilidad química y térmica que, junto a su capacidad de reducir drásticamente la energía superficial de la superficie donde se depositan, las hacen muy adecuadas para usos en diferentes sectores industriales y de consumo: recubrimientos antimanchas de tejidos y moquetas, pinturas y barnices, muebles, zapatos, papel de uso en contacto con alimentos, papel antiadherente, la espuma de los extintores o incluso preparados insecticidas las contienen [1].

Específicamente en textiles, hasta hace unos 15 años los derivados fluorados de 8 átomos de carbono (los conocidos como C8) en la cadena alquílica eran los más empleados para desarrollar acabados hidro- y oleorepelentes, empleando mayoritariamente los ácidos sulfónicos perfluorooctanos (PFOS) y el ácido

perfluorooctanoico (PFOA) para ello. Las restricciones medioambientales y en legislación movieron a la industria química a desarrollar PFAS de cadena más corta (los ahora denominados C6), obteniendo las mismas prestaciones de repelencia al agua y al aceite que con los antiguos, y ya prohibidos, fluorocarbonos tipo C8.

Ahora bien, estos C6 siguen estando basados en la química del flúor y siguen conteniendo PFAS, de manera que la problemática medioambiental y de salud derivada de su uso, persistencia y bioacumulación sigue vigente. Los compuestos repelentes tipo C4 sin flúor (p.ej. ceras) que se han testado hasta ahora para textiles no permiten alcanzar altas cotas de repelencia al aceite, ocurriendo lo mismo con las siliconas hidrófobas. Y las opciones libres de flúor (fluorine-free o PFAS-free) actualmente disponibles son principalmente soluciones hidrorrepelentes, pero no oleorepelentes [2].

## OBJETIVOS

En este marco, el proyecto PROPLANET tiene como objetivo principal es diseñar y optimizar 3 tipos diferentes de recubrimientos innovadores para los siguientes sectores industriales: textil, envasado de alimentos y vidrio. Las soluciones desarrolladas se espera que sean altamente funcionales, seguras y sostenibles, con el objetivo de sustituir los recubrimientos actuales basados en sustancias per- y polifluoroalquiladas (PFAS).

De esta manera, la relación entre la estructura y composición de los recubrimientos innovadores, su aplicación en diferentes superficies y las prestaciones aportadas se resume en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Nuevos recubrimientos libres de PFAS previstos en PROPLANET

<b>Estructura y composición química</b>	<b>Superficie (material a recubrir)</b>	<b>Propiedades aportadas</b>
Microcápsulas de aceites/ceras basadas en biopolímero reticulado, en una matriz de polisacárido	Textil	Repelencia al agua y aceite con buena durabilidad
Recubrimientos híbridos biobasados y con siloxano	Piezas metálicas	Anticorrosión, estabilidad térmica y mecánica
Recubrimientos híbridos de siloxano	Vidrio	Transparencia, antireflectancia, antisuciedad

Para llegar a este objetivo principal, PROPLANET no solamente se apoya en el desarrollo propiamente químico de nuevos recubrimientos y en diferentes técnicas de aplicación, sino que tiene muy en cuenta diferentes conceptos relacionados con impactos medioambientales/sociales, científico-tecnológicos y de mercado, tales como:

- Desarrollar el escalado de los recubrimientos, validando sus altas prestaciones técnicas, mediante metodologías de seguridad y sostenibilidad por diseño (SSbD) que permitan una sustitución efectiva de los tipos de PFAS actuales.
- Emplear herramientas avanzadas de cálculo matemático como las basadas en “first principles models”, en modelos de computación in-silico, en modelos de destino y evaluación de impacto ambiental, incluyendo estudios de replicación, para lograr obtener los nuevos recubrimientos siempre bajo la visión SSbD [3].
- Potenciar e impulsar el conocimiento de los nuevos recubrimientos sostenibles y de alto rendimiento en la caja fuerte y de alto rendimiento en nuevos mercados.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### Desarrollo y aplicación de acabados textiles basados en PFAS vs PFAS-free

Mientras se desarrollan los nuevos recubrimientos para textiles basados en microcápsulas de aceites/ceras y biopolímero reticulado contenidos en una matriz de polisacárido, AITEX ha procedido a estudiar el comportamiento de acabados textiles fluorados de tipo C6 (y que contienen PFAS) frente a productos de acabado textil libres de PFAS y parcialmente biobasados, disponibles en el mercado.

Así, se ha estudiado la capacidad de repelencia que aporta un acabado basado en fluorocarbonos, preparando un baño de impregnación a 30 g/L del producto NUVA® N2114 liquid (de Archroma, Suiza), aplicado con un pick-up del 80% sobre tejido de algodón 100% tipo SWT 221 EMPA (suministrado por Lumaquin, España).

E igualmente se ha estudiado la capacidad de repelencia que aporta un acabado parcialmente biobasado y PFAS-free (libre de flúor), preparando un baño de impregnación a 50 g/L del producto ®RUCO-DRY BIO CGR (de Rudolf GmbH, Alemania), aplicado con un pick-up del 80% sobre el mismo tejido de algodón 100% anteriormente indicado.

Ambos baños se acidifican con 1 mL/L de ácido acético (60%), no empleando reticulante en ninguno de los casos. La aplicación se realiza con un fulard operado manualmente, disponible en AITEX. Los procesos de secado y curado, en estufa de aire caliente, fueron los siguientes:

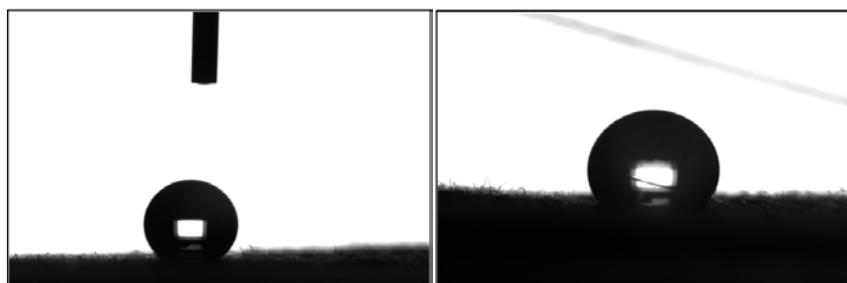
- Para el acabado fluorocarbonado, secado a 110°C y curado a 150°C durante 3 minutos.
- Para el acabado PFAS-free, secado a 100°C y curado a 160°C durante 1 minuto.

### Rendimientos de los acabados. Valores de ángulo de contacto y notas de agua/aceite según estándares AATCC

Transcurridas 24h desde la etapa de curado, los tejidos de algodón acabados con ambos productos se evalúan respecto de su rendimiento en repeler líquidos mediante dos técnicas:

- Medida de ángulo de contacto estático, empleando agua destilada como líquido de medida (tensión superficial, 72 dinas/cm a 25°C) y utilizando un tensiómetro TF300-Basic-Theta Flex Plus (Biolin Scientific AB, Suecia).
- Empleando líquidos estándares de nivel de repelencia al agua (según establece AATCC 193) y al aceite (según AATCC 118).

Así, el valor de ángulo de contacto medido para el tejido algodón 100% acabado con 30 g/L de fluorocarbono fue de 143,8°, mientras que para el tejido algodón 100% acabado con 50 g/L de PFAS-free parcialmente biobasado fue de 146,2°. La Figura 1 muestra las imágenes obtenidas por el tensiómetro para ambas mediciones.



**Figura 1.** Perfil de la gota de agua sobre el tejido de algodón 100% impregnado con 30 g/L de fluorocarbono (izquierda) y el mismo tejido impregnado con 50 g/L de producto PFAS-free parcialmente biobasado (derecha).

Aunque el comportamiento repelente de los tejidos parezca similar, las medidas obtenidas empleando los líquidos descritos por los estándares AATCC 193 (Aqueous Liquid Repellency: Water/Alcohol Solution Resistance Test) y AATCC 118 (Oil Repellency: Hydrocarbon Resistance Test) muestran claramente el diferente nivel de repelencia frente al agua y aceite de los acabados investigados, siendo las prestaciones de repelencia claramente favorables al compuesto fluorocarbonado (Tabla 2).

**Tabla 2.** Valores de repelencia al agua y aceite obtenidos, según métodos AATCC.

Muestra	Valor de repelencia al agua (máx. 8), por AATCC 193	Valor de repelencia al aceite (máx. 8), por AATCC 118
Algodón 100%, 30 g/L fluorocarbono	7	2
Algodón 100%, 50 g/L PFAS-free parcialmente biobasado	1	0

Para altas cotas de repelencia al agua y obtener oleorepelencia, el textil impregnado con producto fluorocarbonado exhibe las mejores prestaciones técnicas. De ahí lo importante que resulte desarrollar alternativas PFAS-free en el marco de PROPLANET que exhiban esas mismas propiedades oleorepelentes, ya que de esta manera podrá darse una alternativa técnica viable a la industria, que está pendiente ahora mismo de la legislación para poder seguir utilizando o no compuestos fluorocarbonados.

Los autores agradecen a la European Health and Digital Executive Agency (HADEA) de la Comisión Europea su apoyo y financiación del proyecto, bajo el G.A. 101091842.

## REFERENCIAS

- [1] European Chemical Agency, [echa.europa.eu](https://echa.europa.eu). Último acceso: 26/06/2023.
- [2] Lacruz, A. et al. 2021 Development of fluorine-free waterborne textile finishing agents for anti-stain and solvent-water separation based on low surface energy (co)polymers. *Progress in Organic Coatings*, Vol. 150, 105968.
- [3] Patinha Caldeira, C. et al., 2022 Safe and Sustainable by Design chemicals and materials. Review of safety and sustainability dimensions, aspects, methods, indicators, and tools, EUR 30991 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-47609-2, doi:10.2760/68587, JRC127109.

## Realidad Aumentada como herramienta para la evaluación de la memoria a corto plazo

Ponce, David<sup>(1)</sup>, Juan, M.Carmen<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Universitario de Automática e Informática Industrial, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia Spain, dvdponce@gmail.com

### RESUMEN

En este trabajo se presenta el primer estudio realizado sobre la eficacia de la realidad aumentada sobre un dispositivo *head-up mounted display* para la evaluación y entrenamiento de la memoria espacial a corto plazo, utilizando objetos virtuales sobre un entorno real y permitiendo la interactividad natural del usuario con los objetos. El estudio ha sido llevado a cabo sobre un grupo de 29 participantes de entre 20 y 62 años de los cuales se han obtenido tanto variables de rendimiento, utilizando una aplicación desarrollada a medida, como valores subjetivos a través de un cuestionario. Los resultados de este estudio se comparan también con los obtenidos por dos estudios similares anteriores utilizando realidad aumentada utilizando un teléfono móvil y realidad virtual basada en fotografía panorámica, respectivamente. La comparativa muestra resultados positivos en las tres técnicas para la evaluación de la memoria espacial a corto plazo. Podemos destacar: 1) La usabilidad y ergonomía han sido valoradas muy positivamente, así como la sensación de diversión. 2) No existen diferencias significativas en los resultados por edad o sexo. 3) Los objetos utilizados en el test con realidad aumentada fueron recordados verbalmente y correctamente posicionados sobre un mapa 2D. 4) La sensación de usabilidad disminuye con la experiencia general con ordenadores o con videojuegos.

**Palabras clave:** realidad virtual, realidad aumentada, memoria espacial, memoria a corto plazo, hololens.

### INTRODUCCIÓN

En estudios de tipo psicológico, suele existir el dilema entre crear un entorno de experimentación muy controlado, pero alejado del entorno natural, o bien estudiar sobre el entorno natural, con el inconveniente de no poder controlar adecuadamente todas las variables implicadas. El uso de entornos virtuales para la evaluación de experimentos psicológicos ha crecido en popularidad en los últimos años. Una de sus principales ventajas es que aportan cierta facilidad para recrear entornos con muchas similitudes cognitivas con el entorno real, pero con un mayor control sobre las variables involucradas.

En este trabajo se utiliza una aplicación desarrollada a medida sobre un dispositivo de realidad aumentada de tipo "*head-up mounted display*" para la evaluación de la memoria espacial a corto plazo. La aplicación muestra objetos virtuales sobre un entorno real y registra automáticamente datos útiles para el estudio como: los tiempos empleados para la memorización, los aciertos y errores cometidos o el tiempo de evaluación. El objetivo principal es validar si estas herramientas suponen una ventaja y resultan útiles para la evaluación y entrenamiento de la memoria espacial a corto plazo. Los resultados se comparan también con dos estudios similares utilizando técnicas de realidad aumentada

sobre una pantalla móvil [1] y realidad virtual basada en fotografía panorámica [2]. La principal hipótesis de este estudio es que la realidad aumentada es una técnica efectiva para la evaluación y el entrenamiento de la memoria espacial a corto plazo y que resultará en una experiencia agradable para los participantes.

## DESARROLLO

### Hardware

El dispositivo utilizado, mostrado en la Figura 1, son las gafas de realidad aumentada Microsoft HoloLens 2. Se trata de un dispositivo de tipo “*head-up mounted display*” con visor transparente sobre el que se representan los elementos virtuales que el usuario percibe como integrados sobre el entorno real.



**Figura 1.** Microsoft HoloLens 2.

### Software

La aplicación desarrollada a medida para este experimento sobre la plataforma Unity escanea el entorno y almacena las características del mismo utilizando los sensores del dispositivo y el servicio online de Microsoft Azure Spatial Anchors. El examinador puede escoger tantos objetos como desee de entre una lista de objetos prediseñados y colocarlos en el entorno físico. Cuando la aplicación está configurada para un experimento concreto, al sujeto se le presentan tres tareas: tutorial, aprendizaje y evaluación.

### Procedimiento

1) Tutorial: La primera tarea consiste en colocar 3 objetos virtuales sobre 3 marcas que aparecen sobre el entorno real. Esta tarea sirve para familiarizarse con el funcionamiento del dispositivo y de la aplicación. Durante esta tarea no se recoge ningún dato.

2) Aprendizaje: En esta tarea, el sujeto puede visualizar 8 objetos virtuales situados en el entorno real. Cuando el sujeto considera que puede recordar la posición de un objeto debe tocarlo con la mano y el objeto se ilumina. Cuando ha tocado los 8 objetos queda registrado el tiempo y termina la tarea.

3) Evaluación: En esta tarea, un objeto de los anteriormente memorizados por el sujeto aparece junto a él en lo que llamaremos área de inicio. El sujeto debe cogerlo y llevarlo hasta el lugar donde recuerda haberlo visto en la tarea anterior. Si lo ha colocado correctamente, aparecerá un nuevo objeto en el área de inicio y deberá repetir la acción hasta terminar con los 8 objetos. Si coloca el objeto en una posición equivocada, la aplicación le informa con un sonido y puede volver a intentarlo hasta un máximo de 3

veces. En caso de agotar los 3 intentos, se pasa al siguiente objeto. Los aciertos, intentos y tiempo total empleado quedan registrados automáticamente por la aplicación.

## RESULTADOS

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas se ha aplicado el test Mann-Whitney U a las variables de rendimiento. Los resultados se muestran en la Tabla 1, en la que se consideran los experimentos con Hololens y dispositivo móvil (Lenovo) y en la Tabla 2, en la que se consideran los experimentos con Hololens y realidad virtual con fotografía panorámica (Pano). Podemos apreciar que el tiempo de validación es menor con la aplicación móvil que con Hololens, y los tiempos de evaluación son mayores con Hololens que con cualquiera de las otras dos tecnologías.

**Tabla 2.** Test Mann-Whitney U para las variables de rendimiento comparando los experimentos con Hololens y Lenovo.

	Hololens	Lenovo	U	Z	P	r
Total Objects	8;1	8;1	786	0.194	0.850	0.021
Total Attempts	3;4	3;5	718	-0.495	0.624	0.055
Learning Time	167.65;617.59	130.22;63.08	962	1.877	0.061	0.207
Evaluation Time	727.38;472.63	147.8;125.26	1537	7.453	<b>&lt; 0.001</b>	0.823

**Tabla 3.** Test Mann-Whitney U para las variables de rendimiento comparando los experimentos con Hololens y Fotografía Panorámica.

	Hololens	Panoramic	U	Z	P	r
Total Objects	8;1	8;0	263.5	-2.362	<b>0.019</b>	0.321
Total Attempts	3;4	0;0	589.5	4.171	<b>&lt; 0.001</b>	0.568
Learning Time	167.65;617.59	120.28;69.33	487	2.160	<b>0.031</b>	0.294
Evaluation Time	727.38;472.63	101.7;53.07	724	6.271	<b>&lt; 0.001</b>	0.853

El número de objetos correctamente colocados e intentos son similares entre el experimento con Hololens el experimento con dispositivo móvil (Lenovo) pero en ambos casos superiores a los realizados con fotografía panorámica (Pano).

## CONCLUSIONES

La flexibilidad de la aplicación desarrollada permite configurar diferentes experimentos en diferentes entornos y almacenarlos para su repetición con varios sujetos, manteniendo igualdad de condiciones en cada una de las pruebas y recogiendo automáticamente los datos para su análisis.

Al compararlo con estudios similares utilizando diferentes tecnologías se puede concluir que la realidad aumentada con Hololens puede utilizarse para la evaluación de la memoria espacial a corto plazo y que presenta ventajas como la facilidad de uso y la comodidad del dispositivo, lo cual previene de distracciones y permite una simulación fiel de un entorno natural.

El uso de realidad aumentada fue efectivo para la memorización a corto plazo de los objetos mostrados y de su posición en el entorno. No hubo diferencias estadísticamente significativas según edad y sexo de los participantes.

Una de las variables subjetivas con peor percepción fue la sensación de presencia, aunque esto puede deberse a una limitación técnica que irá mejorando con el avance de los dispositivos de este tipo.

## REFERENCIAS

- [1] Muñoz-Montoya, Francisco; Juan, M. Carmen; Mendez-Lopez, Magdalena; Fidalgo, Camino (2019) "Augmented Reality Based on SLAM to Assess Spatial Short-Term Memory" *IEEE access*, vol. 7, pp. 2453–2466. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2886627.
- [2] Estevan Moreno, Miguel. "*Desarrollo y validación de una aplicación de realidad virtual para memoria espacial utilizando fotografías panorámicas*". <https://riunet.upv.es/handle/10251/166098>

## MY-FI Reinventando una industria textil inteligente, circular y competitiva con microfibras avanzadas.

Franco, Esther<sup>(1)</sup>, Ortiz, M<sup>a</sup> del Mar<sup>(2)</sup>

(1) G.I. Sostenibilidad y tecnología de materiales. AITEX. efranco@aitex.es

(2) G.I. Sostenibilidad y tecnología de materiales. AITEX. mortiz@aitex.es

### RESUMEN

Las evidencias cada vez más contundentes del cambio climático, está promoviendo un drástico cambio de actitud tanto en las agendas políticas como en las demandas de los consumidores exigiendo procesos y productos sostenibles.

El avance en la biotecnología, y en la ciencia de los materiales ha propiciado que se estén desarrollando alternativa al cuero que proceden de distintas fuentes renovables (hongos, bacterias, residuos agrícolas, etc.).

Los materiales derivados de hongos son un foco creciente de investigación y desarrollo de productos en Europa, América del norte y Asia, en aplicaciones diversas, que van desde el símil cuero, el packaging, el tratamiento de heridas o la purificación de aguas, entre otras.

El proyecto europeo MY-FI pretende proporcionar nuevos materiales fabricados a partir de micelio con prestaciones mejoradas y un impacto medioambiental reducido.

**Palabras clave:** Micelio, biomateriales, cuero vegano.

### INTRODUCCIÓN

El proyecto H2020 MY-FI tiene como objetivo proporcionar a la industria textil y afines materiales innovadores de base biológica y sostenibles derivados del micelio pudiendo ser cultivado sobre materia vegetal y sustratos orgánicos.

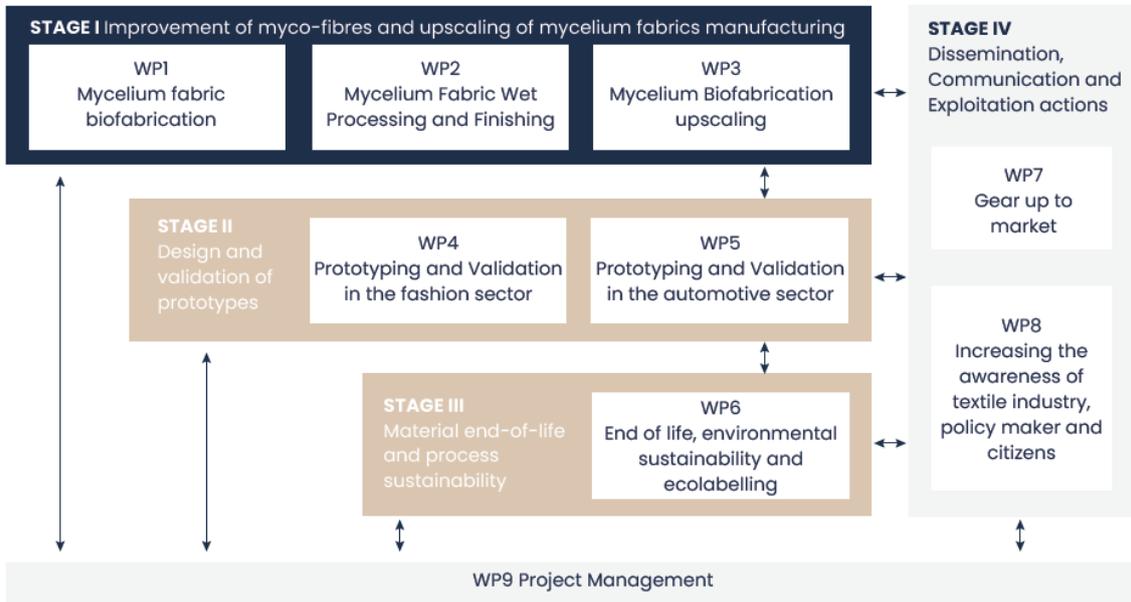
Los hongos filamentosos desempeñan una función ecológica crítica, actuando en la descomposición de material orgánico, y a menudo se les considera superiores a las bacterias y levaduras en cuanto a versatilidad metabólica, robustez y capacidad secretora. Además, tienen requisitos de crecimiento simples y se adaptan fácilmente a procesos a gran escala.

El crecimiento del micelio se produce en distintas fases:

- Obtención: El hongo se conserva en placas de Petri a partir de las cuales se reproduce utilizando pequeñas fracciones para inocular otros sustratos.
- Inoculación: Multiplicación sobre residuos de otras industrias a temperatura controlada y durante varias semanas.
- Crecimiento. A partir de una serie de tratamientos se incorpora el hongo sobre el sustrato que debe aportar los nutrientes necesarios para que el hongo crezca en la superficie formando el material final.

Por todas estas razones los hongos son organismos ideales para desarrollar procesos biotecnológicos a partir de sustratos agroindustriales de bajo valor.

El proyecto se encuentra estructurado en distintos bloques de trabajo tal y como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Estructura del proyecto.

El primer bloque encargado de la obtención del material se encuentra subdividido en:

- Biofabricación: Donde se establecen la metodología de cultivo.
- Procesado: Define diferentes protocolos para obtener las propiedades y apariencia final del material.
- Escalado se extrapolan las condiciones establecidas a nivel de laboratorio a escala industrial.

El segundo bloque se centra en la realización de prototipos para los sectores de moda y automoción, validando sus propiedades en esos ámbitos.

El tercer y último bloque técnico tiene como objetivo calcular el análisis de ciclo de vida y estudiar la biodegradabilidad de los distintos materiales obtenidos en el proyecto.

El proyecto se encuentra formado por otros bloques de trabajo transversales que sirven de apoyo y complemento para la ejecución del proyecto.

## OBJETIVOS

El proyecto MY-FI tiene como objetivo proporcionar a las industrias textil, de moda, automoción y de lujo materiales innovadores, de base biológica y sostenibles derivados del micelio con las siguientes propiedades:

- Reducción del impacto ambiental
- Funcionalidades avanzadas.
- Estética diferenciadora
- Materiales de elevada calidad.

## EXPERIMENTAL

El proyecto cultiva materiales de micelio flexibles mediante fermentación microbiana, alimentando el micelio con sustratos orgánicos de bajo valor de otras industrias, y guiando su crecimiento a través de dos posibles procesos:

- **Fermentación Líquida Dinámica**

Emplea biorreactores convencionales con agitación para cultivar la biomasa que se encuentra suspendida en medios líquidos.



**Figura 2.** (Izq.) Proceso de crecimiento micelio en reactor. (Dcha.) Material obtenido por fermentación líquida dinámica

- **Fermentación Líquida Estática.**

La suspensión obtenida de la mezcla homogeneizada de nutrientes y la cepa seleccionada es depositada en moldes, creciendo en la superficie una capa densa de hifas que posteriormente será recolectada.



**Figura 3.** (Izq.) Proceso de multiplicación del micelio (Dcha.) Material obtenido por fermentación estática.

Estos procesos dan lugar a tipologías diferentes de material fúngico dado que difieren en múltiples aspectos:

- Las cepas fúngicas seleccionadas
- la composición del medio nutritivo
- Los equipos empleados
- Las metodologías utilizadas.

## RESULTADOS

Los materiales de micelio son transformados posteriormente para mejorar sus propiedades y estética e implementarlos en la creación de prototipos dedicados a las industrias de la moda y la automoción.



**Figura 4.** (Izq.) Material original obtenido por fermentación líquida estática. (Dcha.) Distintos tipos de material acabado.

## CONCLUSIONES.

El proyecto avanza de acuerdo a los objetivos establecidos con resultados prometedores. Se ha optimizados su cultivo y se ha conseguido desarrollar un protocolo de procesado del material obteniendo prototipos con distintas estéticas y elevados porcentaje biobasados.

Actualmente el proyecto ha pasado a la fase de escalabilidad de la producción de los materiales y a la generación de los prototipos para las industrias objetivo: moda y automoción. Se continúa trabajando en mejorar las propiedades en función de los distintos requisitos de uso en las industrias tipo.

## AGRADECIMIENTOS.

El proyecto MY-FI se encuentra financiado por la Unión Europea a través del programa Horizon 2020 Grant Agreement N°101000719.



## REFERENCIAS

- [1] M. Jones y S. J. A. B. Antoni Gandia, (2021) «Leather -like material biofabrication using fungi.,» *Nature Sustainability*, vol. 4, n° January, pp. 9-16.
- [2] «MY-FI,» [En línea]. Available: [www.my-fi.eu](http://www.my-fi.eu).
- [3] F. Alberti, G. D. Foster y A. M. .. Baoñeu, (2017) «Natural products form filamentous fur and production by heterologous expresion,» *Applied microbiology and biotechnology*, vc n° 101, pp. 493-500.

## PROYECTO AGROMATTER

### Establecimiento de una RED CERVERA para el desarrollo de materiales técnicos altamente sostenibles derivados de subproductos o residuos de la industria agrícola y de las operaciones de conservación de espacios naturales.

**Sanz Buades, Victoria<sup>(1)</sup>, Blanquer Pérez, Josep<sup>(2)</sup>, Guillem Morales, Cristina<sup>(3)</sup>, Fages Santana, Eduardo<sup>(4)</sup>, Blanes Company, Maria<sup>(5)</sup>**

(1) *Directora de Proyectos de I+D (Grupo de Sostenibilidad y Tecnología de Materiales, AITEX, Plaza Emilio Sala 1, 03801 Alcoy, Alicante, vsanz@aitex.es)*

(2) *Director de Proyectos de I+D (Grupo de Sostenibilidad y Tecnología de Materiales, AITEX, Plaza Emilio Sala 1, 03801 Alcoy, Alicante, jblanquer@aitex.es)*

(3) *Director de Proyectos de I+D (Grupo de Eco-Procesos, Cosmética y Salud, AITEX, Plaza Emilio Sala 1, 03801 Alcoy, Alicante, cguillem@aitex.es)*

(4) *Responsable de Grupo de Investigación de Sostenibilidad y Tecnología de Materiales, (AITEX, Plaza Emilio Sala 1, 03801 Alcoy, Alicante, efages@aitex.es)*

(5) *Responsable de Grupo de Investigación de Eco-Procesos, Cosmética y Salud, (AITEX, Plaza Emilio Sala 1, 03801 Alcoy, Alicante, efages@aitex.es)*

## RESUMEN

En Julio de 2021, AITEX fue reconocido como Centro de Excelencia CERVERA por parte del CDTI, Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, mediante la concesión de la propuesta AGROMATTER presentada en la convocatoria de ayudas destinadas a Centros Tecnológicos de Excelencia “Cervera”, en el marco del Programa Estatal de Generación del Conocimiento y Fortalecimiento Científico y Tecnológico del Sistema de I+D+I, del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020.

Dicha propuesta se centra en la constitución de una Agrupación formada por cinco Centros Tecnológicos altamente complementarios en los ámbitos agrícola, biotecnológico y de ciencia de materiales: **AITEX, ITENE, ANDALTEC, CTAEX y CTNC**.

El papel de AITEX dentro de esta Agrupación es la de coordinador, además de centro especialista en el desarrollo de nuevos materiales para el sector textil y cosmética. Desde el inicio del presente proyecto, AITEX ha estado trabajando en el desarrollo de nuevos materiales y productos, con el fin de valorizar nuevas fuentes alternativas al petróleo como son los subproductos de la industria agroalimentaria y agroforestal.

**Palabras clave:** residuos agroalimentarios, residuos agroforestales, biomateriales, no tejidos, wet-laid.

## OBJETIVOS

La **Agrupación CERVERA AGROMATTER** tiene por objetivo **la constitución de una red de Centros Tecnológicos de Excelencia científico-técnica en el ámbito de la Economía Circular** aplicada al desarrollo de materiales biobasados para aplicaciones técnicas y alcanzar así, un **posicionamiento como centros de I+D de referencia tanto a nivel nacional como internacional**, de manera que redunde en un crecimiento en proyectos de I+D y en acciones de transferencia de tecnología al tejido empresarial.

Esta agrupación centra sus capacidades tecnológicas actuales y futuras en el estudio de valorización de residuos y subproductos del ámbito agrícola en el desarrollo de nuevos materiales de bajo impacto medioambiental, de fácil reciclabilidad y con un ciclo de vida perfectamente definido para las siguientes aplicaciones:

- Industria textil
- Industria del envase y embalaje
- Industria del plástico
- Industria cosmética y nutracéutica

## RESULTADOS

### Resultados alcanzados hasta la fecha

Hasta la fecha presente, se ha verificado la viabilidad técnica de algunas tecnologías para el desarrollo de soluciones textiles y cosméticas con diversos tipos de residuos agroalimentarios, como son los subproductos de la industria vinícola, cítrica, o de la aceituna de mesa, entre otros.

Por un lado, se ha validado el desarrollo de no tejidos por vía húmeda o *wet-laid* con residuos celulósicos de estructura fibrosa [1]. Mediante esta tecnología se han obtenido de forma exitosa, no tejidos con propiedades de aislamiento acústico frente a determinados rangos de frecuencia, alcanzando coeficientes de absorción mayores a 0,90 con gramajes mayores a 500g/m<sup>2</sup>, siendo 1 el valor máximo de absorción acústica [2].

Por otro lado, se han llevado a cabo formulaciones estables para la obtención de diversos tipos de producto cosmético. Junto con la colaboración de algunos de los socios que conforman la Red AGROMATTER, se ha logrado optimizar los procesos de extracción de los activos de interés para el proyecto, así como realizar estudios de purificación optimizando por ejemplo, el rendimiento en polifenoles. Con las fórmulas base estables que se han obtenido, se ha creado un portfolio que recopila soluciones tipo *water-less*, serum facial, exfoliante, contorno de ojos, crema corporal, etc., que muestran gran potencial en capacidad antioxidante. Actualmente, ya se están realizando estudios de eficacia de producto mediante tests de uso con voluntarios.



**Imagen 1.** Cosmético desarrollado a partir de subproductos de la aceituna de mesa.

## Resultados esperados

En cuanto a no tejidos se refiere, se espera poder aumentar la absorción acústica de los no tejidos desarrollados en un rango de frecuencias más amplio, intentando ampliar el alcance y consecuentemente, la aplicabilidad de estos materiales [3-4]. Asimismo, se pretende validar el escalado industrial de la mano de empresas relacionadas con esta tecnología y simultáneamente, realizar acciones de transferencia de tecnología para que estas empresas puedan hacer valer el conocimiento adquirido y ponerlo en valor.

Respecto al ámbito cosmético, el propósito del presente proyecto se centra en la revalorización de los residuos o subproductos en activos de valor añadido. Para ello, se desarrollarán prototipos de formulaciones base con los extractos obtenidos en el proyecto, que se muestren seguros y eficaces para su empleo en el sector. Con el fin de otorgarles un valor añadido, se evaluarán mediante test de eficacia *in vitro* e *in vivo* la eficacia de los activos que acrediten reivindicaciones de base científica y experimental a los ingredientes obtenidos. Siendo así, que se obtendrá una prueba de concepto de utilidad para las empresas del sector con las que se pretende validar los resultados obtenidos, convirtiéndose en una apuesta segura de valor que permita a las empresas adentrarse en una de las tendencias con más auge en el Mercado cosmético, los productos *Upcycled* [5-6]

## CONCLUSIONES

En el proyecto Agromatter se están cumpliendo con los retos que inicialmente había establecido la Red, entre los que cabe destacar, los siguientes:

- Revalorización de residuos agroalimentarios y agroforestales, alargando así su vida útil.
- Optimización de procesos extractivos sostenibles de compuestos de interés para el desarrollo de materiales con menor impacto ambiental y biodegradables, a partir de subproductos agroalimentarios. Escalado de los procesos extractivos a nivel industrial.
- Optimización del proceso de obtención de nuevos materiales textiles para diversas aplicaciones, entre las que se encuentran, además de las aplicaciones de los sectores objetivo, por ejemplo, la construcción o la automoción.
- Optimización del proceso de implementación de principios activos con características funcionales en el desarrollo de artículos de la industria textil y cosmética.

## AGRADECIMIENTOS

- Al CDTI:  
Este proyecto está financiado por el CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial), a través del Ministerio de Ciencia e Innovación, en el marco de ayudas destinadas a Centros Tecnológicos de Excelencia "Cervera" (Expediente: CER-20211013).
- Al resto de socios que conforman la Red CERVERA AGROMATTER: ANDALTEC, CTAEX, CTNC e ITENE.

## REFERENCIAS

- [1] Hemamalini, T.; Dev, V. R. Giri (2021) "Wet Laying Nonwoven Using Natural Cellulosic Fibers and Their Blends: Process and Technical Applications. A Review". *Journal of natural fibers*, v.18, n.11, p.p.1823-1833. <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2019.1701606>
- [2] Vigran, TE.; Kelders, L.; Lauriks, W.; Leclaire, P.; Johansen, TF. (1997) "Prediction and measurements of the influence of boundary conditions in a standing wave tube". *Acustica*, v.83, n. 3, p.p.419-423.
- [3] Liu, Xueting.; Yan, Xiong.; Li, Li; Zhang, Huiping (2015) "Sound-Absorption Properties of Kapok Fiber Nonwoven Fabrics at Low Frequency". *Journal of natural fibers*, v.12, n. 4, p.p.311-322. <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2014.919891>
- [4] Prabhune, Savani ; Munde, Yashwant; Shinde, Avinash; Siva, I. (2022) "Appraising the Acoustic Performance and Related Factors of Natural Fiber: A Review". *Journal of natural fibers*, v.19, n. 16, p.p.13475-13494. <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2022.2099500>
- [5] KinShen,C. (2022) "Beauty disruptors: Upcycling beauty." Mintel (internal report).
- [6] Jaouhari Y, Travaglia F, Giovannelli L, Picco A, Oz E, Oz F, Bordiga M. (2023) "From Industrial Food Waste to Bioactive Ingredients: A Review on the Sustainable Management and Transformation of Plant-Derived Food Waste." *Foods*, v.12, n. 11, p.p.2183. <https://doi.org/10.3390/foods12112183>

## BioHDPE aditivado con harina de cáscara de almendra

Tovar-Alarcón, Jose Antonio<sup>\*(1)</sup>, Llidó-Barragán, Alexandra<sup>(2)</sup>, Pérez-Ponce, Laura<sup>(3)</sup>, Alapont-Bosch, Nadine<sup>(4)</sup>

(1,2,3,4) Instituto Universitario de Tecnología y de Materiales, Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n 03801, Alcoy, Alicante,  
[jotoal1@epsa.upv.es](mailto:jotoal1@epsa.upv.es)<sup>\*(1)</sup>; [allibar@epsa.upv.es](mailto:allibar@epsa.upv.es)<sup>(2)</sup>; [laupepon@epsa.upv.es](mailto:laupepon@epsa.upv.es)<sup>(3)</sup>; [naalbos@epsa.upv.es](mailto:naalbos@epsa.upv.es)<sup>(4)</sup>

### RESUMEN

Debido al empleo de grandes cantidades de materiales poliméricos no renovables, la industria del plástico genera una considerable cantidad de residuos y desechos. Estos residuos contribuyen al incremento del consumo de recursos fósiles, lo que resulta en un aumento de la huella de carbono. Ante esta problemática, se plantea la investigación del aditivado de bio-polietileno de alta densidad con cargas de origen renovable, en concreto, residuos de cáscaras de almendra generados por la industria agroalimentaria, los cuales son molidos y convertidos en forma de harina. Estas cargas vegetales se destacan por su rentabilidad, ya que constituyen un residuo que carece de valor económico. Después de un proceso previo de mezclado e inyección, los materiales han sido sometidos a diferentes pruebas térmicas, mecánicas y ópticas para observar su comportamiento y evaluar los efectos de la aditivación en cuatro porcentajes diferentes (0%, 5%, 10% y 15% respecto a la masa). Entre estas pruebas, se destaca las relacionadas con la colorimetría y la resistencia a la tracción, ya que brindan información relevante sobre el comportamiento del material. De esta manera, las características de este material permiten obtener un compuesto de madera y plástico (WPC).

**Palabras clave:** bio-polietileno, WPC, almendra, aglutinante, PP, composite.

### INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de creciente preocupación por el medio ambiente y la necesidad de reducir nuestra dependencia de los recursos no renovables, es fundamental buscar alternativas sostenibles en el desarrollo y aplicación de materiales compuestos. Una de las opciones prometedoras en este campo es el estudio de un material compuesto que combine un bio-polietileno de alta densidad con diversas cargas derivadas de residuos agroforestales, como la cáscara de almendra.

Los residuos agroforestales, como la cáscara de almendra, son subproductos de las actividades agrícolas y forestales que suelen ser desechados o destinados a un uso limitado. Sin embargo, estos residuos poseen un gran potencial como carga en la fabricación de materiales compuestos. La cáscara de almendra, en particular, se destaca por su abundancia, bajo costo y disponibilidad, lo que la convierte en una opción atractiva para ser utilizada como carga en la composición de un material compuesto.

Al combinar el bio-polietileno de alta densidad con la carga de cáscara de almendra, se logra obtener un material con propiedades mecánicas y térmicas adecuadas para diversas aplicaciones industriales. El bio-polietileno de alta densidad, que se obtiene a partir de fuentes renovables como el maíz o la caña de azúcar, es una alternativa más sostenible al polietileno convencional derivado del petróleo. Al utilizar este tipo de polímero junto con la carga de cáscara de almendra, se logra una combinación que

aprovecha las propiedades del material base y mejora sus características gracias a la incorporación de la carga renovable.

La utilización de residuos agroforestales como carga en materiales compuestos también contribuye a la reducción de desechos y a la utilización eficiente de los recursos naturales. Al aprovechar estos subproductos que de otro modo serían desechados, se promueve la economía circular y se reduce la presión sobre los recursos no renovables. Además, al utilizar cargas de origen renovable, se reduce la dependencia de materiales derivados del petróleo y se disminuye la huella de carbono asociada a la fabricación y uso de estos materiales compuestos.

Otro aspecto destacado de la utilización de la cáscara de almendra como carga en materiales compuestos es su potencial para fomentar el desarrollo rural y la generación de empleo en áreas agrícolas.

En resumen, el desarrollo y aplicación de materiales compuestos que combinan un bio-polietileno de alta densidad con cargas derivadas de residuos agroforestales, como la cáscara de almendra, ofrece numerosos beneficios en términos de sostenibilidad ambiental, utilización eficiente de recursos y generación de empleo rural. Estos materiales compuestos pueden ser utilizados en diversas aplicaciones industriales, proporcionando alternativas más sostenibles y contribuyendo a un futuro más resiliente y respetuoso con el medio ambiente. [2]

## MÉTODOS EXPERIMENTALES

### Materiales y preparación de muestras

La matriz polimérica para la realización de las técnicas fue el bio-polietileno alta densidad (HDPE) fabricado en Braskem S.A Br 386 de Rodovia Tabai Canoas, Brasil. La densidad del material es de 0,955 g/cm<sup>3</sup> y un índice de fluidez de 20g/10min a 190°C y una fuerza newtoniana de 21,2. Por otro lado, se utiliza el aglutinante anhídrido maleico (PP-g-MA) que se trata del Licocene PP MA 6462 de Cariant para la cohesión de las muestras. En cuanto a los filamentos de refuerzo, se utilizaron cáscaras de almendra suministradas por Harinas Climent, ubicado en Cocentaina, una región característica del mediterráneo. Las cáscaras de almendra se emplearon como refuerzo en las muestras para mejorar sus propiedades mecánicas. El proceso de fabricación consistió en mezclar los distintos materiales en una extrusora de tipo Micro mezclador, modelo Xplore MC 40, a una velocidad de trabajo de 220 rpm y una temperatura máxima de funcionamiento de 450°C. La extrusora permitió fundir y mezclar los componentes de manera homogénea. Posteriormente, la mezcla se inyectó en un molde utilizando un microinyector, modelo Xplore IM 12, para dar forma a las muestras. Una vez inyectadas, las muestras se dejaron reposar durante aproximadamente 16 horas para permitir que se solidificaran y adquirieran su forma definitiva.

Las muestras de ensayo sustraídas fueron:

**Tabla 4.** Materiales para desarrollar.

Código	Bio-HDPE (% en peso)	HCA (% en peso)	PP-g-MA (% en peso)
BioHDPE	100	0	0
BioHDPE+5HCA	91.5	7.50	0.75
BioHDPE+10HCA	83.5	15.0	1.50
BioHDPE+15HCA	67.0	30.0	3.00

## Ensayo de tracción

El equipo utilizado para realizar este ensayo fue la máquina de tracción cuyo modelo es ELIB de 50 de Iberest. Se utilizó una célula de carga de 5kN y una velocidad de ensayo de 5mm/min. Este ensayo cumple con la norma UNE-EN ISO 527-1. [1]

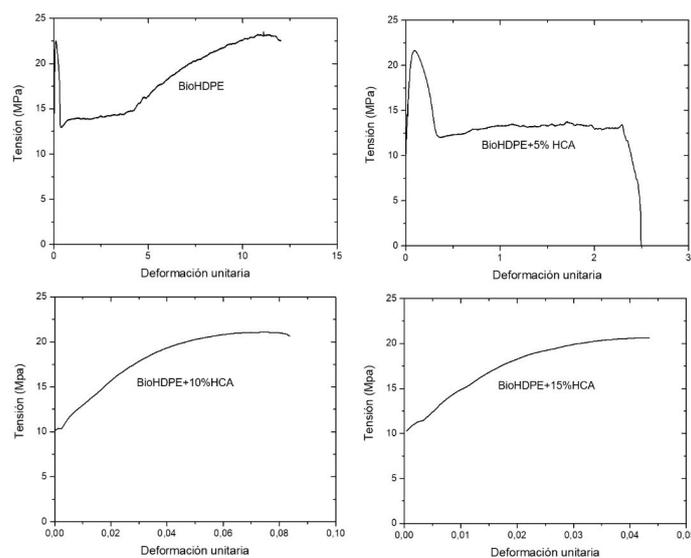
## Ensayo de colorimetría

Para este ensayo óptico se utilizó el equipo Konica CM-3600d Colorflex-DIFF2, de Hunter Associates Laboratory, Inc (Reston, Virginia, EE. UU) para realizar las mediciones de color. Los resultados se obtuvieron coordenadas de color ( $L^*a^*b^*$ ), donde  $L^*=0$ , oscuridad,  $L^*=100$ , luminosidad,  $a^*$  coordenada con un rango del verde al rojo;  $b^*$  coordenada con un rango del azul al amarillo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ensayo de tracción

Se realizaron ensayos de tracción para conocer las propiedades mecánicas de las diferentes mezclas de Bio-HDPE y harina de cascara de almendra. Los resultados obtenidos de la Tabla 2 muestran cómo según se aumenta el porcentaje del aditivo, este material se comporta de manera cada vez más frágil. Este comportamiento puede apreciarse en las gráficas Tensión/Deformación de la Figura 1.



**Figura 2.** Resultados obtenidos de ensayo de tracción. a) BioHDPE; b) BioHDPE+5%HCA; c) BioHDPE+10%HCA; d) BioHDPE+15%HC

**Tabla 5.** Características obtenidas del ensayo de tracción.

Muestra	Elongación (%)	Tensión máxima (MPa)	Módulo plástico (MPa)
1	1210	23.9	20.5
2	251	21.9	19.4
3	11.2	22.6	19.7
4	7.26	21.9	19.8

## Ensayos de colorimetría

Para la obtención de los resultados de colorimetría se recogen los datos de coordenadas L\*a\*b de cada una de las distintas muestras que se observan en la Tabla 3.

En la muestra BioHDPE se observa el valor más alto de luminancia debido a su color blanquecino que presenta. Tal como se añaden las distintas cargas de cáscara de almendra (HCA) esta apariencia va cambiando y se estabiliza en un valor de 30 aproximadamente. Las muestras que se obtienen presentan una similitud a la madera.

**Tabla 6.** Resultados obtenidos del índice de color de Bio-HDPE y derivados de cargas.

Muestra	L*	a*	b*	dE*
1	65.4	-1.93	-5.97	65.7
2	36.2	6.92	10.9	38.4
3	33.5	6.85	9.10	35.3
4	30.6	5.30	6.82	31.8

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos revelan la posibilidad de crear materiales poliméricos compuestos mediante la mezcla de Bio-polietileno de alta densidad (BioHDPE) y cáscara de almendra (HCA). Se han medido los efectos de añadir al polímero una carga natural seleccionada (harina de cascara de almendra). Estos se pueden reducir en dos repercusiones principales. La primera es un comportamiento mucho más frágil conforme se aumenta el aditivo, viéndose la elongación de las probetas mermadas de forma drástica. Otro gran efecto, es el cambio de color del material, tiñéndose de un color marrón cada vez más oscuro según se aumenta la concentración de la carga de harina de cascara de almendra. Es por esto por lo que podemos concluir que estos materiales compuestos por una matriz polimérica y una carga dispersa de origen vegetal de fuentes renovables pueden resultar una manera de ahorrar costes de producción e incluso reducir el uso de otros aditivos destinados a el abaratamiento de los recursos poliméricos necesarios o de otros como bien pudieran ser tintes como tintes, pero esto actuaría en decremento de algunas características mecánicas como la elasticidad del material, lo cual dependiendo de la finalidad a la que se debiera ajustar el producto final formado por este material compuesto, pudiera no ser un problema sino una oportunidad de ser más sostenible de forma económica y para el planeta.

## REFERENCIAS

- [1] Essabir;Nekhlaoui;Malha;Bensalah;Arrakhiz;Qaiss;Bouhfid. (2013). "Bio-composites based on polypropylene reinforced with Almond Shells particles: Mechanical and thermal properties". *Materials & Design*, v.51, n., pp. 225-230. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.04.031>
- [2] Liminana;Quiles-Carrillo;Boronat;Balart;Montanes. (2018). "The Effect of Varying Almond Shell Flour (ASF) Loading in Composites with Poly(Butylene Succinate (PBS) Matrix Compatibilized with Maleinized Linseed Oil (MLO)". *Materials*, v.11, n. 11, pp. 17. <http://dx.doi.org/10.3390/ma11112179>

## Uso de herramientas de flujo dinámico computacional de libre acceso, como soporte para la simulación de procesado de materiales

Sempere Torregrosa, Jaume<sup>(1)</sup>, De la Rosa Ramírez, Harrison<sup>(1)</sup>, Samper Madrigal, M<sup>a</sup> Dolores<sup>(1)</sup>, López Martínez, Juan<sup>(1)</sup>, Ferrándiz Bou, Santiago<sup>(1)</sup>

(1) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales (DIMM), Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n. 03801, Alcoy (Alicante) [jausemto@upv.es](mailto:jausemto@upv.es), [hardela@epsa.upv.es](mailto:hardela@epsa.upv.es), [masammad@upv.es](mailto:masammad@upv.es), [jlopezm@mcm.upv.es](mailto:jlopezm@mcm.upv.es), [sferrand@mcm.upv.es](mailto:sferrand@mcm.upv.es)

### RESUMEN

En el presente trabajo se expondrá una primera toma de contacto con una herramienta de cálculo de flujo dinámico computacional (CFD) de libre acceso, OpenFoam. Para ello se expondrá un resumen y explicación de las principales funciones de OpenFoam, mostrando una mejor perspectiva de lo que es, y cuáles son las posibles aplicaciones de este software de acceso libre para el desarrollo de herramientas digitales dentro del proyecto DiMAT.

A continuación, se expondrá la metodología empleada para la instalación de openfoam siendo un primer paso esencial para evitar errores durante la instalación. La instalación se realizará utilizando Ubuntu, la máquina virtual de Linux que funciona en Windows.

Finalmente, se realizará la simulación de uno de los tutoriales contenidos en los archivos de OpenFoam, el cual se recomienda para comprobar que el programa se ha instalado correctamente. El tutorial corresponde al estudio de un flujo laminar, isotérmico e incompresible en una cavidad impulsada en un dominio cuadrado bidimensional.

**Palabras clave:** OpenFoam, flujo dinámico computacional, CFD, software de acceso libre.

### INTRODUCCIÓN

La utilización de programas informáticos para resolver problemas relacionados con la producción industrial, o para mejorar y optimizar los procesos existentes cada vez es más común. Una de las principales razones es conseguir analizar materiales, procesos o manufactura de productos sin tener que pasar por la línea de producción para realizar dichas pruebas. Aunque la mayoría de los softwares de simulación exigen al usuario suscripciones anuales o pagar por licencias de versiones que al poco tiempo quedan obsoletas. Debido a la imposibilidad de acceder a este tipo de aplicaciones de soporte por parte de pequeñas empresas o usuarios con pocos recursos, aparece un nuevo tipo de free software.

Los programas de acceso libre más empleados están relacionados con el diseño de geometrías y la simulación de esfuerzos y tensiones. Para el caso que nos ocupa, simulación de procesado de materiales, es necesario emplear diversas herramientas, de preprocesado (diseño), un solucionador (cálculo) y de post-procesado (visualización de resultados).

Principalmente en este proyecto se va a utilizar OpenFoam, un programa de simulación para desarrollar ejecutables de aplicaciones que utilizan la funcionalidad empaquetada contenida en una colección de más de 100 bibliotecas de C++. OpenFoam contiene dos tipos de aplicaciones; solucionadores que se encargan de resolver problemas específicos de mecánica de fluidos, y utilidades que se encargan de tareas relacionadas con la manipulación de datos.

Para realizar el preprocesado se pueden utilizar programas como, FreeCad o Salome, también se pueden emplear otro tipo de software, pero en este caso se presentan soluciones de acceso abierto. Para el finalizar la simulación, se puede utilizar programas de acceso abierto como Salome o Paraview, este último se puede instalar junto con Openfoam desde enero de 2023, ya que es altamente empleado por la comunidad.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es una correcta primera toma de contacto con OpenFoam, programa de dinámica de fluidos computacional (CFD). Primeramente, se presentará el proceso de instalación de la versión 10 de OpenFoam, empleando Ubuntu la máquina virtual de Linux para Windows.

Posteriormente, para verificar la correcta instalación se desarrollará el primer tutorial, que viene con el mismo programa. El tutorial corresponde a un flujo laminar, isotérmico e incompresible en un dominio cuadrado bidimensional. El tutorial se ejecutará empleando el solucionador correspondiente al tipo de fluido analizado.

## RESULTADOS

Primeramente, se debe instalar Ubuntu en Windows, desde la ventana de sistema, usando el denominado Subsistema de Windows para Linux (WSL), que utiliza la imagen genuina de Ubuntu proporcionada por Canonical, el grupo detrás de Ubuntu Linux. Ubuntu es una aplicación gratuita y se puede descargar desde distintas localizaciones, incluyendo Microsoft Store. A continuación, desde la terminal de Ubuntu se copian y pegan las siguientes líneas de comando:

```
sudo sh -c "wget -O - https://dl.openfoam.org/gpg.key >
/etc/apt/trusted.gpg.d/openfoam.asc"
```

```
sudo add-apt-repository http://dl.openfoam.org/ubuntu
```

Para finalizar de actualizar los archivos antes de la instalación, se agregará una línea de comando más, asegurando los parches necesarios para la funcionalidad del programa:

```
sudo apt-get update
```

Finalmente, se debe copiar y pegar la última línea de comando para instalar Openfoam 10, desde principios de año este comando también instala Paraview programa útil para el post procesado y visualización de los resultados obtenidos en la simulación:

```
sudo apt-get -y install openfoam10
```

Se recomienda agregar una línea de comando después de la instalación para asegurar una correcta instalación de los últimos paquetes que el repositorio de openfoam dispone, así como para actualizar el software si fuera necesario:

```
sudo apt-get -y install openfoam10
```

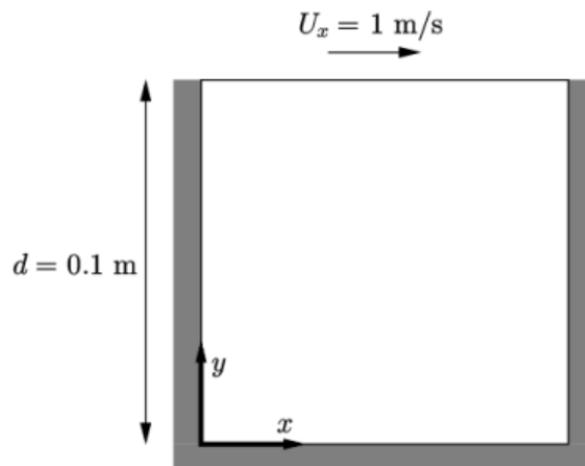
Para comprobar que OpenFoam se ha instalado correctamente, se va a realizar un tutorial que esta compilado en los archivos de instalación. Antes de empezar hay que crear un directorio nuevo dentro de  $\$HOME/OpenFOAM$ , el nuevo directorio se nombrara como  $\langle USER \rangle - 10$ , como ejemplo:

```
mkdir -p $FOAM_RUN
```

Para empezar el tutorial hay que primeramente añadir el siguiente comando para ejecutar la carpeta correspondiente. Posteriormente se añade una segunda línea de comando, para copiar los archivos de la carpeta de tutoriales, en este caso el tutorial cavity:

```
cd $FOAM_RUN
```

```
cp -r $FOAM_TUTORIALS/incompressible/incompressible/cavity/cavity.
```



**Figura 1.** Geometría de la cavidad conducida de la tapa [1].

A continuación, se añade una línea de comando para ejecutar la nueva carpeta copiada anteriormente. La siguiente línea de comando, *blockMesh*, se utilizará para generar y ejecutar la malla. La malla inicial será uniforme de 20 por 20 celdas, que se puede modificar, editando el archivo *blockMeshDict* que contiene los datos de mallado.

Para finalizar se ejecutará el solver *icoFoam*, el tipo de solucionador se seleccionará dependiendo del tipo de fluido que se desee simular. Finalmente, se añade la última línea de comando para visualizar los resultados en Paraview:

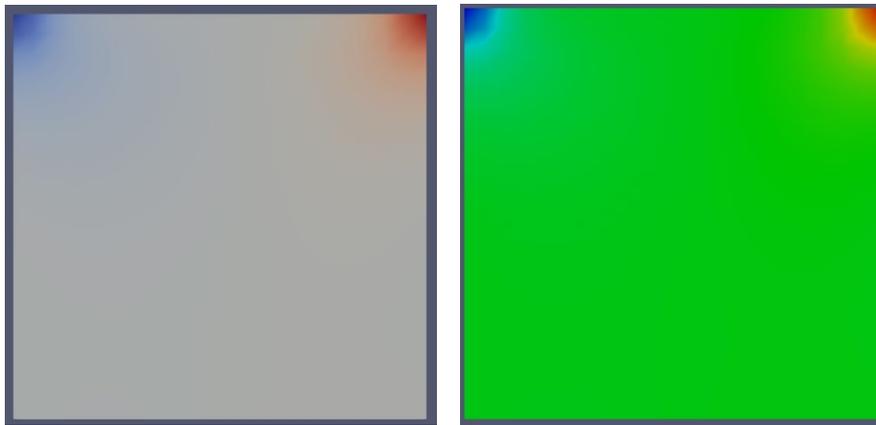
```
cd cavity
```

```
blockMesh
```

```
icoFoam
```

```
paraFoam
```

La última línea de comando ejecutara Paraview abriendo el programa. Primeramente, habrá que seleccionar *Apply* en la pestaña de la izquierda para obtener el modelo de la simulación. A continuación, en la barra de herramientas se selecciona la magnitud  $p$ , correspondiente a la presión, lo cual dará un modelo como el de la Figura 2.a. Para terminar con el tutorial y comprobar los resultados se cambiará el color con el que Paraview expone los resultados. Desde la barra de herramientas se selecciona *View < Colour Map editor*, abriendo una nueva pestaña de dialogo, donde se seleccionará unos de los símbolos nombrado *Choose preset*, esta herramienta tiene un buscador de mapa de colores, en él se buscará *Blue to Red Rainbow*, para obtener los resultados como en la Figura 2.b.



**Figura 2.** Resultado obtenido en la simulación de la magnitud  $p$ ; Figura 2.a (Izquierda) y Figura 2.b (Derecha)

## CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una metodología de instalación de un simulador opensource en un entorno en el que conviven dos sistemas operativos diferentes, lo que obliga a resolver algunos problemas de compatibilidad de datos entre ellos. La simulación se ha realizado finalmente de manera satisfactoria.

## REFERENCIAS

- [1] Greenshields, Chris. *Download v10 | Ubuntu*. <https://openfoam.org/download/10-ubuntu/>
- [2] Greenshields, Chris. *OpenFOAM v10 Usersr Guide – Chapter 1 Introduction*. <https://doc.cfd.direct/openfoam/user-guide-v10/introduction#x3-20001>
- [3] Greenshields, Chris. *OpenFOAM v10 Usersr Guide – Chapter 2.1. Lid – driven cavity flow*. <https://doc.cfd.direct/openfoam/user-guide-v10/cavity>

## Procedimiento de electrohilado para la fabricación de fibras nanométricas

**Gómez-Tejedor, José Antonio<sup>(1)</sup>, Martín-Cabezuelo, Rubén<sup>(2)</sup>, Mares-Bou, Sofía<sup>(3)</sup>, Serrano, María-Antonia<sup>(4)</sup>**

(1) *Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. CIBER de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina, Instituto de Salud Carlos III [jogomez@upv.es](mailto:jogomez@upv.es)*

(2) *Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, [rubmarca@doctor.upv.es](mailto:rubmarca@doctor.upv.es)*

(3) *Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, [sofiamaresbou@gmail.com](mailto:sofiamaresbou@gmail.com)*

(4) *Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, [mserranj@fis.upv.es](mailto:mserranj@fis.upv.es)*

### RESUMEN

Este trabajo describe el procedimiento de electrohilado para la fabricación de membranas constituidas por fibras micrométricas. Este tipo de estructuras son de gran utilidad en una variedad de campos, desde la medicina regenerativa y la ingeniería tisular, hasta la fabricación de recubrimientos para tejidos textiles.

**Palabras clave:** electrohilado, nanofibras, microfibras, ingeniería tisular, medicina regenerativa, liberación de fármacos.

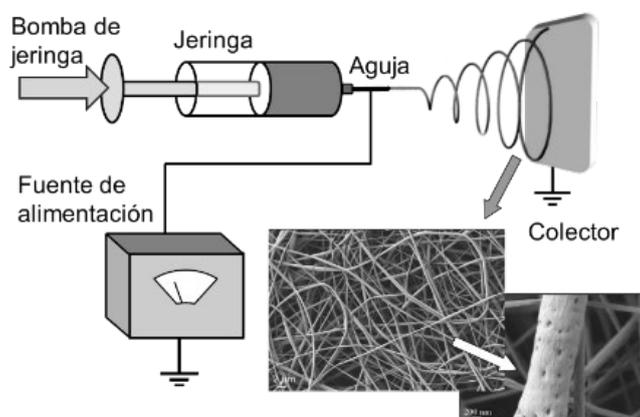
### INTRODUCCIÓN

Entre los diversos métodos propuestos para producir microfibras, se ha demostrado que el electrohilado es lo suficientemente versátil como para ser aplicado a casi cualquier material polimérico, y, como resultado, se han encontrado un gran número de aplicaciones industriales y tecnológicas. De hecho, hasta la fecha, se han preparado nanofibras electrohiladas a partir de aproximadamente 100 polímeros diferentes de origen tanto sintético como natural [1]. Estas mallas electrohiladas se pueden preparar tanto utilizando disolventes como mediante hilatura por fusión. Este trabajo se centra en el proceso de electrohilado mediante la disolución en un disolvente adecuado de materiales poliméricos. Se muestran a modo de ejemplo resultados de ácido poliláctico (PLLA) y alcohol polivinílico (PVA).

La configuración básica de un equipo de electrohilado (Figura 1) consta de cinco elementos principales: una jeringa que contiene una disolución de polímero que normalmente está impulsada por una bomba de jeringa, una aguja metálica, una fuente de alimentación y un colector metálico (con una morfología variable).

En primer lugar, en el proceso de electrohilado, se aplica una diferencia de potencial eléctrico entre una gota de polímero en la punta de una boquilla y un colector conectado a tierra [2]. La forma de la gota se transforma gradualmente en una forma cónica llamada Cono de Taylor bajo la acción del voltaje aplicado, del cual emana un chorro [3]. Esta forma de cono se puede mantener cuando fluye una cantidad suficiente de solución y reemplaza la solución proyectada en el chorro durante el proceso de electrohilado. El voltaje crítico, más allá del cual se pueden generar nanofibras a partir de una solución

dada está determinado por la tensión superficial de la solución, el radio de la boquilla y la distancia entre la punta de la boquilla y un colector conectado a tierra [4].



**Figura 3.** Esquema de la configuración básica de electrohilado.

Después de que se inicia el electrohilado, el chorro de solución de polímero sigue una línea casi recta hasta una cierta distancia de la boquilla. La distancia tiene un valor crítico que es proporcional al campo eléctrico aplicado, la conductividad y el flujo de disolución, pero inversamente proporcional a la densidad del líquido y la corriente que pasa a través del chorro. Más allá del segmento recto, se puede observar el alargamiento del chorro como resultado de fuerzas eléctricas. Esto provoca la aparición de una inestabilidad denominada inestabilidad de flexión o inestabilidad de flexión lateral, caracterizada por la formación de una especie de bobinas producidas por la fuerza repulsiva de las cargas eléctricas en el chorro que giran a un radio creciente [5]. Esta flexión produce un movimiento oscilante del chorro a altas frecuencias que es crítica para reducir el diámetro del chorro de micrómetros a nanómetros [6]. Durante el proceso de alargamiento y flexión, los solventes en las nanofibras se evaporan, dando como resultado la solidificación de las nanofibras [7]. Después de la deformación por flexión y la evaporación del disolvente, las nanofibras se recogen en un colector conectado a tierra.

Un gran número de parámetros influyen en la morfología o la homogeneidad de las fibrillas electrohiladas. Normalmente estos parámetros se agrupan en tres categorías, dependiendo de si se relacionan con las propiedades de la disolución, con los parámetros del procedimiento de electrohilado o con las condiciones ambientales. Respecto a las propiedades de la disolución, los parámetros que más influyen en el proceso son el peso molecular del polímero y su concentración en la disolución. Los parámetros del procedimiento que más influyen son la distancia entre la aguja y el colector, la diferencia de potencial aplicada, la velocidad de flujo de la bomba y el diámetro de la aguja. Por último, también influyen las condiciones ambientales de temperatura y humedad. Los diseños de boquillas y colectores son aspectos importantes que afectan las morfologías y estructuras de las nanofibras obtenidas [8].

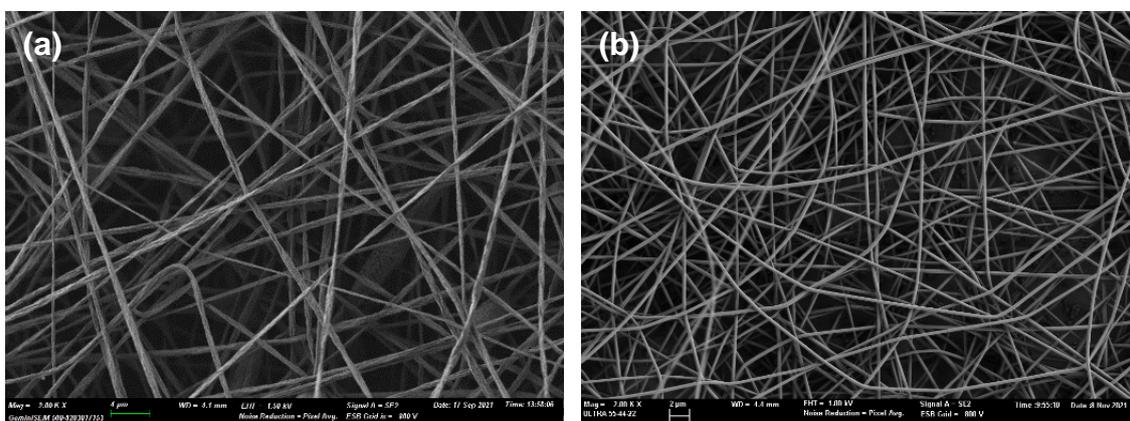
## OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es el diseño y fabricación de membranas de microfibras mediante la técnica de electrohilado, fabricadas de ácido poliláctico (PLLA)

y alcohol polivinílico (PVA), para su utilización como soporte de células en ingeniería tisular y para la liberación controlada de fármacos.

## RESULTADOS

Entre todas las muestras fabricadas, la figura 2 muestra imágenes de microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) de dos de ellas. La figura 2a son microfibras de PLLA disuelto al 6% p/v en una mezcla de cloroformo y dimetilformamida (80:20 v/v), donde la bomba de jeringa suministra un caudal de 4 mL/h, el colector está situado a 15 cm de distancia de la punta de la aguja, y con una diferencia de potencial de 20 kV entre ambos. La figura 2b son microfibras de PVA disuelto al 21% p/v en agua, con la bomba de jeringa suministrando un caudal de 2 mL/h, una distancia entre colector y aguja de 15 cm y una diferencia de potencial de 20 kV.



**Figura 4.** Imágenes de microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) de: (a) PLLA disuelto al 6% p/v en una mezcla de cloroformo y dimetilformamida (80:20 v/v) a 4 mL/h, distancia de 10 cm y diferencia de potencial de 15 kV. (b) PVA disuelto al 21% p/v en agua a 2 mL/h, distancia de 15 cm y diferencia de potencial de 20 kV. Barras de escala 4 μm y 2 μm.

Se puede observar la formación de las fibras, con un diámetro homogéneo y sin ningún tipo de defecto. En el caso del PLLA tenemos fibras con un diámetro 0,7 μm, y para el PVA las fibras obtenidas son bastante más finas, con un diámetro de 0,3 μm. Respecto a la morfología de la superficie de la fibra, en las fibras de PVA se observa una superficie lisa, y para el caso del PLLA se observa una superficie de las fibras con irregularidades. Estas irregularidades son debidas a la presencia de dos solventes en la disolución, con diferentes solubilidad y punto de ebullición, que al evaporarse a diferente velocidad en el camino que recorre la fibra de la aguja al colector, produce estas irregularidades. Este tipo de fibras tiene multitud de aplicaciones, como cultivos celulares [9], o para la liberación controlada de fármacos [10].

## CONCLUSIONES

En este trabajo hemos presentado y descrito la técnica de electrohilado para la fabricación de membranas constituidas por fibras de tamaño micrométrico. A modo de ejemplo de esta técnica, se han mostrado membranas electrohiladas obtenidas a partir de PLLA y PVA. Estas membranas pueden tener muchas aplicaciones, entre las que podemos destacar la ingeniería tisular y la liberación de fármacos.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fueron financiadas por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 proyecto PID2020-114894RB-I00.

CIBER-BBN, Centro de Investigación Biomédica en Red de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina es una iniciativa financiada por el VI plan Nacional de i+D+i 2008-2011, Iniciativa Ingenio 2010, Programa Consolider, acciones CIBER y financiada por el Instituto de Salud Carlos III con la ayuda del Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

## REFERENCIAS

- [1] Haider, Adnan; Haider, Sajjad; Kang, Inn-Kyu. (2018). "A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology". *Arabian Journal of Chemistry*, v. 11, n. 8, p.p. 1165–1188. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.11.015>
- [2] Kim, Choong; Chung, Seok; Kim, Young Eun; Lee, Kang Sun; Lee, Soo Hyun; Oh, Kwang Wook; Kang, Ji Yoon. (2011). "Generation of core-shell microcapsules with three-dimensional focusing device for efficient formation of cell spheroid". *Lab Chip*, v. 11, n. 2, p.p. 246–252. <http://dx.doi.org/10.1039/C0LC00036A>
- [3] Taylor, Geoffrey Ingram. (1964). "Disintegration of water drops in an electric field". *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, v. 280, n. 1382, p.p. 383–397. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.1964.0151>
- [4] Taylor, Geoffrey Ingram. (1969). "Electrically Driven Jets". *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 313, n. 1515, p.p. 453–475. <http://dx.doi.org/10.1098/rspa.1969.0205>
- [5] Reneker, D.H; Kataphinan, W; Theron, A; Zussman, E; Yarin, A.L. (2002). "Nanofiber garlands of polycaprolactone by electrospinning". *Polymer*, v. 43, n. 25, p.p. 6785–6794. [http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861\(02\)00595-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0032-3861(02)00595-5)
- [6] Shin, Y. M.; Hohman, M. M.; Brenner, M. P.; Rutledge, G. C. (2001). "Electrospinning: A whipping fluid jet generates submicron polymer fibers". *Applied Physics Letters*, v. 78, n. 8, p.p. 1149–1151. <http://dx.doi.org/10.1063/1.1345798>
- [7] Yarin, A. L.; Koombhongse, S.; Reneker, D. H. (2001). "Bending instability in electrospinning of nanofibers". *Journal of Applied Physics*, v. 89, n. 5, p.p. 3018–3026. <http://dx.doi.org/10.1063/1.1333035>
- [8] Park, SuA; Park, Koeun; Yoon, Hyeon; Son, JoonGon; Min, Teijin; Kim, GeunHyung. (2007). "Apparatus for preparing electrospun nanofibers: designing an electrospinning process for nanofiber fabrication". *Polymer International*, v. 56, n. 11, p.p. 1361–1366. <http://dx.doi.org/10.1002/pi.2345>
- [9] Gómez-Tejedor, José Antonio; Overberghe, Niek Van; Rico, Patricia; Ribelles, José Luís Gómez. (2011). "Assessment of the parameters influencing the fiber characteristics of electrospun poly(ethyl methacrylate) membranes". *European Polymer Journal*, v. 47, n. 2, p.p. 119–129. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2010.10.034>
- [10] Mares-Bou, Sofía; Serrano, María-Antonia; Gómez-Tejedor, José Antonio. (2023). "Core-Shell Polyvinyl Alcohol (PVA) Base Electrospinning Microfibers for Drug Delivery". *Polymers*, v. 15, n. 6, p.p. 1554. <http://dx.doi.org/10.3390/polym15061554>

## Alternativa sostenible y biodegradable: Blend de PLA y TPS

Unamuno-Garay, Aritz<sup>(1)</sup>, Juan-Polo, Andrea<sup>(1)</sup>, Muñoz, Lucia<sup>(1)</sup>, Cascales, Antonio<sup>(1)</sup>, Seguí-Pons, Mauro.<sup>(1)</sup>

(1) Instituto Universitario de Tecnología de Materiales, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoy (Alicante),  
[aunagar@epsa.upv.es](mailto:aunagar@epsa.upv.es); [anjuapo@epsa.upv.es](mailto:anjuapo@epsa.upv.es); [lumoor@epsa.upv.es](mailto:lumoor@epsa.upv.es);  
[acasesp@epsa.upv.es](mailto:acasesp@epsa.upv.es); [mausepon@epsa.upv.es](mailto:mausepon@epsa.upv.es)

### RESUMEN

Hoy en día, se genera una gran cantidad de residuos de plásticos donde a menudo terminan dañando el medio ambiente y por consiguiente la salud de las personas. El reciclado es una posible solución a dicho problema, pero esta solución no es útil para todos los plásticos. Es por ello por lo que surge la idea de utilizar biopolímeros de origen natural y biodegradable. Es por ello por lo que se propone el estudio de las mezclas de PLA con TPS para una obtención de un Blend con altas prestaciones ecológicas. La combinación de TPS y PLA ha ayudado a compensar la debilidad de cada material. Tras un previo procesado del material, los materiales han sido sometidos a ensayos de tracción, caracterización morfológica y DMTA. Los ensayos mecánicos realizados en este trabajo tienen como objetivo observar el impacto de la adición de TPS al PLA en las propiedades mecánicas. Mediante la caracterización morfológica se ha podido estudiar la miscibilidad y mediante DMTA se ha realizado la caracterización térmica. Se ha observado como La adición del TPS al PLA provoca una reducción de sus propiedades y en la muestra PLA75-TPS25 se observa un equilibrio de propiedades con una correcta miscibilidad.

**Palabras clave:** PLA y TPS, biopolímeros, biodegradables, economía circular.

### INTRODUCCIÓN

Actualmente vivimos en una sociedad que genera una gran cantidad de plásticos debido al rango amplio de aplicaciones como el sector alimentario, aeroespacial, defensa, electrónica, comunicación y construcción. Esto si le sumamos a la forma de vida de usar y tirar que vivimos actualmente ha hecho que aumenten los residuos generados notablemente. El mayor inconveniente de estos residuos es que necesitan un tratamiento posterior, ya sean vertederos, incineradoras, ... En ocasiones terminan en los océanos o en ecosistemas terrestres afectando a la flora y fauna. El reciclado de plásticos es una posible solución para la problemática actual, sin embargo, el hecho es que se realiza sobre el residuo generado y no es útil para todos los plásticos [1].

Un biopolímero es un polímero que es biodegradable, que proviene de una fuente renovable o no. Así, se pueden clasificar en tres grupos: origen no renovable y biodegradables, origen renovable y no biodegradables y origen renovable y biodegradables. El tercer grupo es el más interesante ya que se consigue cerrar por completo el ciclo de vida del producto. En este grupo se encuentran el ácido poli láctico (PLA) y el almidón termoplástico (TPS).

El ácido poli láctico (PLA) es un polímero sintético que se obtiene del proceso de fermentación de compuestos ricos en azúcares como los almidones y celulosa. Por lo tanto, proviene de recursos naturales, sin embargo, es difícil de reciclar. El PLA tiene buena resistencia mecánica, fácil de procesar y alta transparencia. Sus propiedades son

parecidos al PET per la baja temperatura máxima de uso continuo y su elevado precio hacen que disminuya su interés industrial. Sin embargo, el PLA puede degradarse completamente mediante la presencia de agua, luz y dióxido de carbono sin emitir ningún compuesto tóxico o perjudicar el medio ambiente [2].

El almidón termoplástico (TPS) es un biopolímero termoplástico biodegradable el cual se obtiene por la modificación estructural del gránulo de almidón cuando se procesa con un bajo contenido de agua y la acción de fuerzas térmicas y mecánicas.

La combinación de TPS y PLA ha ayudado a compensar la debilidad de cada material y potencialmente superar el problema mundial de los desechos de plásticos. Por lo tanto, es esencial evaluar el desempeño de las mezclas de TPS/PLA como materiales que pueden disminuir el impacto ambiental

Es importante destacar que, aunque los biopolímeros ofrecen ventajas ambientales al ser biodegradables y provenir de fuentes renovables, también tienen limitaciones y desafíos. La disponibilidad de materia prima, la eficiencia en la producción a gran escala y los costos son algunos de los factores que aún deben abordarse para que estos materiales se conviertan en una solución viable y sostenible a largo plazo.

Además de los avances en el desarrollo de biopolímeros, también es fundamental promover una mayor conciencia sobre el consumo responsable, el reciclaje adecuado y el fomento de una economía circular que minimice la generación de residuos plásticos en primer lugar. La reducción del uso de plásticos de un solo uso y la adopción de prácticas más sostenibles en la gestión de residuos son aspectos clave para abordar la crisis ambiental asociada con los plásticos.

## OBJETIVO

El objetivo principal es realizar el estudio de las mezclas de PLA con TPS para una obtención de un Blends con altas prestaciones ecológicas.

## EXPERIMENTAL

El proveedor de PLA es Resinex y se trata de un PLA Ingeo 3251D y el TPS es de Novamont y se trata de un Mater-Bi.

Se utilizó la mezcladora Xplore MC40 para la extrusión e inyección de las probetas.

### Propiedades mecánicas

La norma utilizada es UNE-EN ISO 527-1. La máquina de tracción utilizada fue ELIB de 50 de la compañía Iberest con una célula de carga de 5kN. La velocidad de ensayo utilizada fue 5 mm/min.

### Caracterización morfológica

Se utilizó el FESEM modelo ULTRA 55 de la marca ZEISS siguiendo la norma UNE-EN ISO 9220. En cuanto al equipo se ajustaron los aumentos entre x200-x5000, el voltaje de aceleración de electrones en 2kV y se trabajó con un working distance de 3-4 mm.

### DMTA

Se utilizó un DMA1 dynamic analyzer de Mettler-Toledo (Switzerland) para obtener información acerca de las transiciones siguiendo la norma ASTM E 1640-99 . Para este ensayo se utilizaron probetas (40 ± 1 10 ± 1 4 ± 1 mm). Se ha utilizado un soporte

grueso (3.5 mm) y fino (0.5 mm). El Espacio de carga "Loading Gap" utilizado ha sido de 55000  $\mu\text{m}$ .

## RESULTADOS

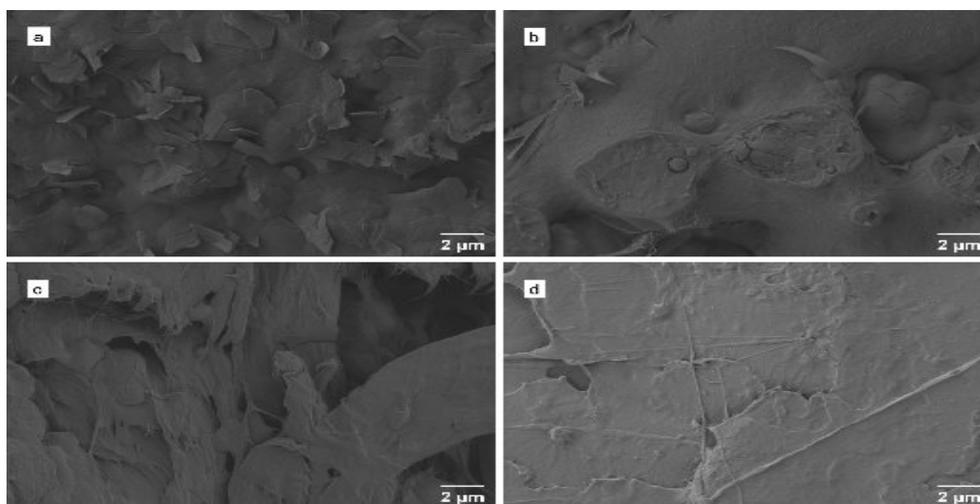
### Propiedades mecánicas

**Tabla 1.** Propiedades mecánicas.

Muestra	Resistencia máxima (MPa)	Alargamiento a la rotura (%)
PLA	69,72 $\pm$ 1,33 <sup>a</sup>	21,04 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>
PLA75-TPS25	48,24 $\pm$ 1,79 <sup>b</sup>	7,88 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>
TPS50-PLA50	21,63 $\pm$ 1,34 <sup>c</sup>	8,07 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>
TPS75-PLA25	4,78 $\pm$ 1,21 <sup>d</sup>	3,10 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>
TPS	6,69 $\pm$ 0,63 <sup>d</sup>	8,16 $\pm$ 0,02 <sup>b</sup>

La adición del TPS al PLA provoca una reducción de sus propiedades, en la muestra PLA75-TPS25 se observa un equilibrio de propiedades donde sus propiedades no se reducen en gran medida, reduce su resistencia en un 30% y su alargamiento en solo un 37%.

### Caracterización morfológica



**Figura 5.** FESEM de las muestras a) TPS; b) PLA25-TPS75; c) PLA75-TPS25; d) PLA.

En la Figura 1.d se muestra la superficie de fractura frágil del PLA, es decir sin evidencia de deformación plástica y una superficie lisa homogénea. Por otro lado, en la Figura 1.a el TPS muestra una fractura diferente con formación de escamas típica del crecimiento de planos cristalinos del almidón de maíz que se orientan aleatoriamente durante el proceso de fractura. En la Figura 1.c se puede observar una estructura monofásica del sistema PLA/TPS, por lo que se demuestra una buena miscibilidad entre ambos materiales. En la Figura 1.b se puede observar que al añadir más cantidad de TPS la miscibilidad se pierde ya que este satura la mezcla.

## Caracterización térmica

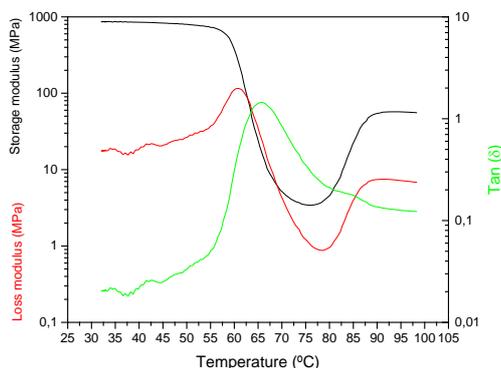


Figura 6. Curvas análisis DMTA muestra PLA75-TPS25

En cuanto a los resultados obtenidos tras la caracterización térmica mediante el análisis DMTA para la muestra de PLA75-TPS25, se observa en primer lugar, valores de módulo elástico bastante elevados ( $10^3$  MPa) indicando una alta rigidez del material. Tras ello, se muestra un descenso a  $58^{\circ}\text{C}$  mostrando la  $T_g$  y presentando el material un comportamiento dúctil hasta los  $90^{\circ}\text{C}$  donde se produce un aumento que coincide con la temperatura de cristalización del polímero (recupera la rigidez). La tangente muestra una subida de  $55^{\circ}\text{C}$  a  $70^{\circ}\text{C}$  indicando también la  $T_g$  y un desfase entre torque y temperatura. Por último, el módulo de pérdidas indica un comportamiento sólido y rígido del material hasta los  $60^{\circ}\text{C}$  que empieza a disminuir a medida que se calienta la muestra indicando el comportamiento viscoso del material que recupera rigidez al cristalizar.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos revelan la posibilidad de crear materiales poliméricos compuestos mediante la mezcla de TPS y PLA. Se ha observado que la adición del TPS al PLA provoca una reducción de sus propiedades, en la muestra PLA75-TPS25 se observa un equilibrio de propiedades. Esto puede llevar a la conclusión de que se consigue un biopolímero con buenas propiedades mecánicas y más económico. Por otro lado, en las imágenes SEM se ha observado el carácter frágil del PLA y la dúctil del TPS. Además de que al añadir más cantidad de TPS la miscibilidad se pierde ya que este satura la mezcla y el blend PLA75-TPS25 demuestra una buena miscibilidad entre ambos materiales. En cuanto a los resultados obtenidos tras la caracterización térmica mediante el análisis DMTA para la muestra de PLA75-TPS25 se observó como el material obtuvo unas propiedades resistentes, pero con un cierto grado de ductilidad debido al TPS introducido y al bajo valor de la temperatura de transición vítrea, así como una baja cristalinidad.

## REFERENCIAS

- [1] Carbonell-Verdu;Garcia-Garcia;Dominici;Torre;Sanchez-Nacher;Balart. (2017). "PLA films with improved flexibility properties by using maleinized cottonseed oil". *European Polymer Journal*, v.91, n., pp. 248-259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.04.013>
- [2] Valero-Valdivieso;Ortegon;Uscategui. (2013). "BIOPOLYMERS: PROGRESS AND PROSPECTS". *Dyna-Colombia*, v.80, n. 181, pp. 171-180.

## La evolución de los polímeros de altas prestaciones: avances y perspectivas

**Eixerés Tomás, Beatriz<sup>(1)</sup>, Peydró Rasero, Miguel Ángel<sup>(1)</sup>, De La Calle Salas, Alejandro<sup>(1)</sup>, García Carrasco, Sergio<sup>(1)</sup>, Sánchez-Caballero, Samuel<sup>(1)</sup>**

*(1) Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Escuela Politécnica Superior de Alcoi. Universitat Politècnica de València ([beaeito@dimmm.upv.es](mailto:beaeito@dimmm.upv.es), [mpeydro@upv.es](mailto:mpeydro@upv.es)\*, [adel14a@epsa.upv.es](mailto:adel14a@epsa.upv.es), [sergarc9@epsa.upv.es](mailto:sergarc9@epsa.upv.es), [sasanca@dimmm.upv.es](mailto:sasanca@dimmm.upv.es))*

### RESUMEN

Los polímeros de altas prestaciones (HPPs) han experimentado una evolución significativa en las últimas décadas, revolucionando numerosas industrias y aplicaciones. Estos materiales poliméricos de alto rendimiento se caracterizan por sus propiedades excepcionales, como resistencia mecánica, estabilidad térmica, resistencia química y propiedades eléctricas, lo que los convierte en componentes clave en una amplia gama de sectores, como la automoción, la electrónica, la medicina y la energía. Este estudio examina su evolución histórica, destacando los avances más significativos de estos materiales. Así mismo se detallan sus principales propiedades fisicoquímicas así como sus aplicaciones industriales.

**Palabras clave:** HPPs, LCP, PPS, PEEK, PAS, PSU, PI, PPA, PAEK, PVDF.

### EVOLUCIÓN DE LOS POLÍMEROS DE ALTAS PRESTACIONES [1], [2]

A lo largo de las últimas décadas, los polímeros de altas prestaciones han experimentado una notable evolución, impulsada por la necesidad de materiales con propiedades mecánicas excepcionales, resistencia química y estabilidad térmica en diversas aplicaciones industriales. Estos polímeros han surgido como alternativas prometedoras a los materiales tradicionales, como metales y cerámicas, ofreciendo ventajas significativas en términos de peso, costo y procesabilidad.

La poliimida (PI) fue desarrollada por DuPont en 1958 y ha demostrado ser un polímero de alto rendimiento en diversas aplicaciones. Durante su evolución, se ha trabajado en mejorar sus propiedades físicas y químicas para adaptarse a las demandas de diferentes industrias. Los esfuerzos recientes se han centrado en el desarrollo de grados de PI con mayor resistencia al calor, mejor estabilidad dimensional y mayor capacidad de procesamiento, lo que ha ampliado su utilidad en aplicaciones exigentes. La polisulfona (PSU) se remonta a 1965, cuando fue desarrollada por Imperial Chemical Industries, que actualmente forma parte de Solvay. En términos de evolución, se ha puesto énfasis en mejorar la resistencia al impacto y a la temperatura del PSU. Los avances en este polímero de altas prestaciones han dado lugar a la aparición de grados con mayor tenacidad y capacidad para soportar condiciones exigentes. Además, se ha trabajado en desarrollar variantes con mayor resistencia química para su uso en entornos agresivos.

La polifenilsulfona (PPS) hizo su aparición en 1972, siendo desarrollada por Union Carbide Corporation (actualmente parte de Solvay). Desde entonces, ha experimentado avances significativos en términos de mejoras en la procesabilidad y la incorporación de

refuerzos de fibra para aumentar su resistencia mecánica. En los últimos años, se ha trabajado en el desarrollo de grados modificados de PPS con características de flujo mejoradas y mayor facilidad de procesamiento.

La poliéter-éter-cetona (PEEK) se introdujo en 1982 gracias a los esfuerzos de Victrex plc. A lo largo de los años, el PEEK ha experimentado una creciente demanda en diversas industrias, como la automotriz, aeroespacial, médica y de petróleo y gas. Recientemente, se ha observado un enfoque en el desarrollo de grados de PEEK con resistencia mejorada a altas temperaturas, mayor resistencia al desgaste y una capacidad de procesamiento mejorada, lo que ha ampliado aún más su campo de aplicaciones.

Aunque la fecha exacta de la aparición de la poliarilsulfona (PAS) no está claramente definida, se ha utilizado comercialmente desde la década de 1970. La PAS ha evolucionado a lo largo de los años, con un enfoque en mejorar su resistencia a la temperatura, resistencia química y capacidad de procesamiento.

La polifitalamida (PPA), también conocida como polyphthalamide, es un polímero de altas prestaciones que se introdujo en el mercado a principios de la década de 1980. Fue desarrollado para abordar las demandas de aplicaciones que requieren una combinación única de propiedades mecánicas, térmicas y químicas. A lo largo de los años, la PPA ha evolucionado para ofrecer grados con mayor resistencia, rigidez y resistencia a la fluencia. Además, se ha mejorado su capacidad de procesamiento, lo que ha ampliado su uso en sectores como la industria automotriz y la electrónica.

La poliariletercetona (PAEK) es otro polímero de altas prestaciones que ha ganado popularidad desde su introducción en la década de 1980. A lo largo de los años, se ha trabajado en la mejora de sus propiedades, como la resistencia mecánica, la resistencia a altas temperaturas y la estabilidad dimensional. Esto ha permitido que el PAEK se utilice en aplicaciones exigentes, como componentes aeroespaciales, equipos médicos y componentes de ingeniería de precisión. Además, se ha ampliado la gama de grados de PAEK disponibles en el mercado para satisfacer diversas necesidades industriales.

El polifluoruro de vinilideno (PVDF) es un polímero de altas prestaciones conocido por su excelente resistencia química, estabilidad dimensional y resistencia al impacto. Fue desarrollado en la década de 1960 y ha experimentado avances significativos desde entonces. En los últimos años, se ha trabajado en la mejora de sus propiedades, incluyendo mayor resistencia a la intemperie, estabilidad térmica y resistencia a los rayos UV. Además, se ha ampliado su uso en aplicaciones como conductos y tuberías para transporte de fluidos corrosivos, recubrimientos resistentes a productos químicos y membranas para separación de gases.

## **PROPIEDADES Y APLICACIONES RELEVANTES [3], [4]**

El PPS destaca por su resistencia química, alta resistencia mecánica, estabilidad térmica y baja absorción de agua. Además, puede soportar altas temperaturas, resistir productos químicos agresivos y posee baja inflamabilidad y excelente estabilidad dimensional. Se utiliza en diversas aplicaciones, como la fabricación de componentes electrónicos (conectores y bobinas), así como en la industria automotriz, química, electrodomésticos y equipos de procesamiento térmico.

La PEEK destaca por su combinación única de alta resistencia mecánica, resistencia química, estabilidad térmica, baja inflamabilidad y excelente resistencia al desgaste. Presenta la capacidad de operar en temperaturas extremas, resistir productos químicos

agresivos, mantener su rigidez y resistencia a altas temperaturas. Así mismo es compatible con técnicas de procesamiento como el moldeo por inyección y el mecanizado. Se utiliza en aplicaciones de ingeniería exigentes, como la industria aeroespacial, automotriz, de petróleo y gas, dispositivos médicos, así como en componentes de sistemas de transmisión y equipos deportivos.

Las PSU se caracterizan por su alta resistencia mecánica, rigidez, resistencia a la temperatura, estabilidad dimensional, resistencia química y propiedades eléctricas al tiempo que mantienen su rigidez y resistencia a largo plazo. Se utilizan ampliamente en aplicaciones como componentes automotrices, equipos médicos, sistemas de filtración y aplicaciones eléctricas y electrónicas que requieren resistencia a altas temperaturas y productos químicos agresivos.

Las PI se destacan por su resistencia mecánica, estabilidad térmica, resistencia química y baja absorción de humedad. Pueden operar en condiciones extremas de temperatura y ambientes agresivos, y exhiben una excelente estabilidad dimensional, baja emisión de humos y buen rendimiento eléctrico. Encuentran aplicaciones en la industria aeroespacial, electrónica y automotriz, utilizándose en componentes de aviones, rotores de motores, circuitos impresos de alta frecuencia, aislantes eléctricos y juntas de sellado.

Las PAS se destacan por su resistencia térmica, estabilidad dimensional, resistencia química y propiedades dieléctricas, al tiempo que mantienen la rigidez y resistencia a largo plazo. Son ampliamente utilizadas en la fabricación de componentes para la industria médica, sistemas de filtración, componentes eléctricos y electrónicos, y piezas de automóviles. La PPA ofrece una combinación destacada de alta resistencia mecánica, rigidez, resistencia química, estabilidad dimensional, así como una buena resistencia a la temperatura y baja absorción de humedad. Se utiliza ampliamente en aplicaciones de ingeniería, como componentes eléctricos y electrónicos, piezas de automóviles, dispositivos médicos y envases alimentarios.

La PA destaca por su alta resistencia mecánica, rigidez, resistencia a la abrasión y buenas propiedades de deslizamiento, así como una buena resistencia al impacto y a la fatiga. Posee la capacidad de resistir altas cargas y tensiones repetidas, así como una buena resistencia a productos químicos. Puede ser modificada con aditivos para mejorar aún más sus propiedades. Se utiliza ampliamente en aplicaciones como componentes automotrices e industriales, textiles técnicos, electrodomésticos y envases.

Los LCP se caracterizan por su alta resistencia mecánica, rigidez, estabilidad dimensional, bajo coeficiente de expansión térmica y excelente resistencia a altas temperaturas, baja absorción de agua, buen rendimiento eléctrico y habilidad para formar fibras y películas delgadas. Se utilizan en aplicaciones especializadas, como componentes electrónicos de alta gama, empaques ópticos, textiles técnicos, dispositivos médicos y en la industria automotriz.

La PAEK destaca por su combinación única de alta resistencia mecánica, rigidez, estabilidad dimensional, resistencia a la temperatura y resistencia química. Posee la capacidad de mantener su rigidez y resistencia incluso en condiciones elevadas de temperatura, y se procesa fácilmente. Se utiliza en aplicaciones exigentes en la industria aeroespacial, petróleo y gas, automotriz, dispositivos médicos y componentes electrónicos de alto rendimiento.

El PVDF destaca por su excelente resistencia química, estabilidad dimensional, resistencia al impacto y fatiga. También se caracteriza por ser un polímero de baja densidad y alta resistencia dieléctrica. Posee resistencia a la intemperie, estabilidad térmica, protección contra los rayos UV, retardante a la llama y capacidad para mantener

propiedades mecánicas en un amplio rango de temperaturas. Se utiliza en diversas aplicaciones, como conductos y tuberías para transporte de fluidos corrosivos, recubrimientos químicos, membranas de separación de gases, cables y alambres industriales y médicos, así como componentes en la industria de semiconductores.

Respecto a sus propiedades mecánicas, la Tabla 1 muestra un resumen comparativo.

**Tabla 1.** Propiedades mecánicas típicas de diferentes polímeros de altas prestaciones.

Polímero	Tensión de Fluencia (MPa)	Tensión de Rotura (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Deformación a la Rotura (%)
PPS	60-100	90-150	2.7-3.0	2-10
PEEK	90-150	100-170	3.6-4.0	20-50
PSU	70-90	90-120	2.8-3.2	10-30
PI	80-130	120-190	3.0-3.5	3-8
PAS	70-90	80-120	2.6-2.9	8-20
PPA	70-90	100-180	2.5-3.0	2-10
PA	50-90	60-120	1.5-2.5	20-100
LCP	50-80	80-150	2.5-3.5	2-5
PAEK	90-140	120-180	3.5-4.5	5-10
PVDF	30-60	50-80	1.5-2.5	100-300

## CONCLUSIONES

La evolución de los polímeros de altas prestaciones ha sido notable, ofreciendo alternativas prometedoras a los materiales convencionales en diversas aplicaciones industriales. Estos polímeros destacan por su resistencia mecánica excepcional, resistencia química y estabilidad térmica, lo que los hace ideales para entornos exigentes. Además, han evolucionado en términos de mejoras en procesabilidad y capacidad de procesamiento, ampliando su utilidad. Polímeros como PI, PSU, PPS, PEEK, PAS, PPA, PAEK y PVDF han encontrado aplicaciones en industrias como aeroespacial, automotriz, médica, petróleo y gas, entre otras.

## REFERENCIAS

- [1] Hamerton, Ian; and Robert J. Iredale; (2021). "On the natural selection of high performance polymers." *Arkivoc*. vol. 2021.2021, doi: 10.24820/ark.5550190.p011.517.
- [2] Hergenrother, Paul M.; (2003). "The use, design, synthesis, and properties of high performance/high temperature polymers: An overview." *High Perform Polym*. vol. 15, no. 1.2003, doi: 10.1177/095400830301500101.
- [3] De Leon, Al Christopher C.; Ítalo G. M. da Silva; Katrina D. Pangilinan; Qiyi Chen; Eugene B. Caldon; and Rigoberto C. Advincula; "High performance polymers for oil and gas applications," *Reactive and Functional Polymers*, vol. 162. 2021. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2021.104878.
- [4] Ramgobin, Aditya; Gaëlle Fontaine; and Serge Bourbigot; "Thermal Degradation and Fire Behavior of High Performance Polymers," *Polymer Reviews*, vol. 59, no. 1. 2019. doi: 10.1080/15583724.2018.1546736.

## Avances y estado de arte del Polisulfuro de Fenileno (PPS): Innovaciones en materiales de altas prestaciones.

Eixerés Tomás, Beatriz<sup>(1)</sup>, Parres García, Francisco José<sup>(1)</sup>, Martínez Iborra, Juan Enrique<sup>(1)</sup>, De La Calle Salas, Alejandro<sup>(1)</sup>, Sellés Cantó, Miguel Ángel<sup>(1)</sup>

(1) *Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Escuela Politécnica Superior de Alcoi. Universitat Politècnica de València ([beaeito@dimmm.upv.es](mailto:beaeito@dimmm.upv.es)\*, [fraparga@dimmm.upv.es](mailto:fraparga@dimmm.upv.es), [juanmari3@epsa.upv.es](mailto:juanmari3@epsa.upv.es), [adel14a@epsa.upv.es](mailto:adel14a@epsa.upv.es), [maselles@dimmm.upv.es](mailto:maselles@dimmm.upv.es))*

### RESUMEN

El Polisulfuro de Fenileno (PPS) es un termoplástico semicristalino de altas prestaciones, ampliamente utilizado en una variedad de aplicaciones industriales debido a sus propiedades excepcionales, que incluyen una excelente resistencia térmica, química y mecánica. En este estudio, se presenta un análisis exhaustivo de los avances recientes en el PPS, su estado de arte y las innovaciones en materiales de altas prestaciones. Se discuten las propiedades clave del PPS, su evolución a lo largo de los años, las aplicaciones industriales relevantes y las perspectivas futuras.

**Palabras clave:** Polisulfuro de fenileno, PPS, High performance polymers

### INTRODUCCIÓN

El PPS es un polímero sintético con una  $T_g$  y  $T_m$  elevadas, cuya fórmula es  $(C_6H_4S)_n$ . Este polímero fue desarrollado por James T. Edmonds y H. Wayne Hill Jr. mientras trabajaban en Philips Petroleum Company, en 1967. Fue comercializado bajo el nombre de Ryton [1].

El Polisulfuro de Fenileno (PPS) ha sido objeto de intensa investigación debido a su combinación única de propiedades. A lo largo de los años, se han logrado avances significativos en la síntesis y modificación de las características del PPS, lo que ha llevado a su aplicación en una amplia gama de sectores industriales, siendo las más frecuentes las relacionadas con la fabricación de componentes eléctricos y electrónicos, piezas de automoción, equipos quirúrgicos o aplicaciones en contacto con fluidos [2].

Las mezclas de PPS con otros polímeros o aditivos pueden proporcionar una amplia gama de propiedades mejoradas o características adicionales. Algunos ejemplos incluyen la mezcla de PPS con poliamidas, poliésteres, poliolefinas o fibras de refuerzo, como la fibra de vidrio y la fibra de carbono. Actualmente se está investigando sobre la compatibilidad de estos materiales y los efectos de las mezclas en las propiedades del PPS.

### ESTADO DEL ARTE Y EVOLUCIÓN DEL PPS

La primera fibra comercial de sulfuro en EE.UU. fue producida en 1983 por Phillips Fibers Corporation, una subsidiaria de la empresa Phillips 66. El PPS es comercializado

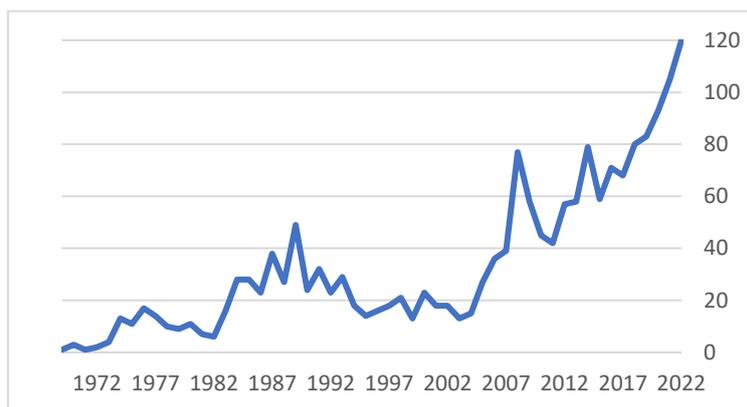
por diferentes marcas y empresas. Ejemplos de estas son: PPS Ryton de Chevron Phillips (polímero reticulado); Fortron por Ticona (polímero lineal), y Sulfar Testori (fibra).

A lo largo de los años, ha habido avances significativos en la síntesis y formulación del PPS. Estos avances han permitido la obtención de PPS con propiedades mejoradas y características específicas, adaptándolo a diversas aplicaciones. La evolución incluye mejoras en la resistencia al fuego, la estabilidad dimensional y la resistencia a la deformación bajo carga, entre otros aspectos.

Con el propósito de establecer los límites y proporcionar un contexto más preciso, se ha realizado un análisis exhaustivo de la bibliografía recopilada en la base de datos "Scopus". Se ha llevado a cabo un minucioso examen de la trayectoria evolutiva de la investigación en el ámbito de los polímeros de alto rendimiento, focalizando la atención en el progreso alcanzado en los materiales que involucran el empleo de polifenileno sulfuro (PPS). Posteriormente, se ha evaluado la frecuencia con la cual se hace referencia al uso de tratamientos térmicos. Por último, se ha analizado la prevalencia de la incorporación de fibras de refuerzo como carga en distintas mezclas poliméricas.

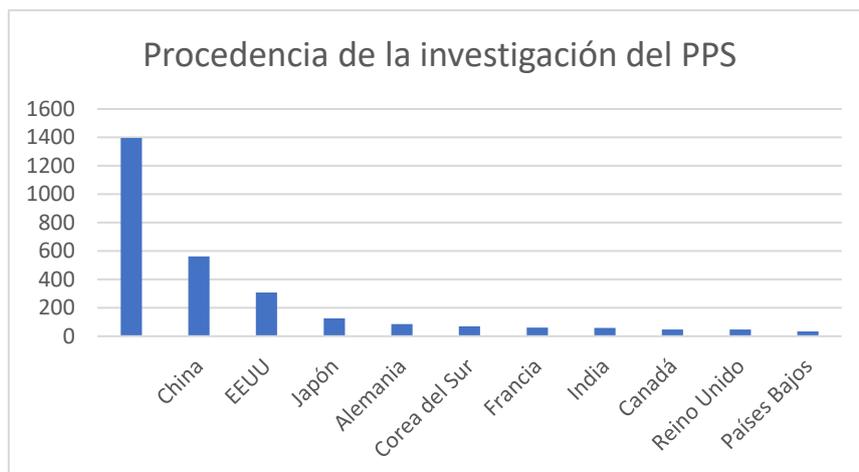
Cabe destacar que todas las búsquedas se han realizado dentro del área de conocimiento de "Ciencia y Tecnología", abarcando de manera específica las áreas de investigación de "Ciencia de materiales", "Química", "Ingeniería" y "Física". Además, se han seleccionado con cuidado los tipos de documentos "Artículos" y "Artículos de revisión" con el fin de obtener un conjunto de información confiable y de calidad para este estudio en particular.

En primer lugar, se ha observado la evolución de la investigación sobre el PPS. Se ha obtenido un resultado de 1810 publicaciones. En la Figura 1 se observa una tendencia ascendente evidente en las investigaciones relacionadas con los polímeros de Polisulfuro de Fenileno. Como se ha mencionado previamente, este material es altamente útil y posee numerosas aplicaciones en la industria, sin embargo, su procesamiento y síntesis son complejos, resultando en un costo elevado. Por consiguiente, es coherente observar un crecimiento en la búsqueda de soluciones que permitan una mayor economía en polímeros de alto rendimiento en general.



**Figura 1.** Evolución de las publicaciones sobre el PPS en relación al tiempo

Se ha realizado un análisis de los datos sobre autoría y país de origen, resultando que los países con mayor número de publicaciones provienen de Asia (40%) y Estados Unidos (20%), mientras que el porcentaje restante corresponde a publicaciones europeas, como ilustra la Figura 2.



**Figura 2.** Procedencia de la investigación relacionada con el Polisulfuro de Fenileno

Asimismo, el uso de refuerzos en mezclas de polímeros es una aplicación actualmente destacada debido a sus múltiples ventajas y funcionalidades, que van desde la mejora de las propiedades mecánicas, hasta aplicaciones tecnológicas. Por otro lado, han surgido algunas investigaciones al respecto de los tratamientos térmicos en polímeros, con una tendencia creciente en este tema.

## APLICACIONES INDUSTRIALES

El PPS exhibe una excelente estabilidad térmica, manteniendo sus propiedades mecánicas incluso a altas temperaturas. Además, posee una alta resistencia química, lo que lo hace adecuado para entornos agresivos. Su resistencia mecánica y rigidez son destacables, lo que lo convierte en un material ideal para componentes estructurales. Asimismo, el PPS presenta propiedades dieléctricas notables, lo que lo hace valioso en aplicaciones eléctricas y electrónicas.

El PPS suele estar disponible sin carga, reforzado con fibra de vidrio (30-40%) o con refuerzo de fibra de vidrio junto con carga mineral de hasta el 65%. En menor medida, pero también se comercializa PPS con fibra de carbono (40%) en forma de granza, preparada para ser inyectada.

Las propiedades principales del PPS son: servicio continuo a temperaturas de hasta 240 °C, resistencia a temperaturas de hasta 270 °C a corto plazo (siendo uno de los termoplásticos de más resistencia la temperatura), propiedades ignífugas inherentes (alcanza la clasificación UL 94 V-0 y algunos grados incluso la 5 VA incluso sin añadir aditivos ignífugos), resistencia química muy alta (insoluble en todos los disolventes conocidos a menos de 200 °C), absorción de agua muy baja y muy alta resistencia a la fluencia, incluso a altas temperaturas [3].

El PPS encuentra aplicaciones en diversos sectores industriales [4]. En la industria automotriz, se utiliza en piezas estructurales, componentes de motores y sistemas de escape debido a su resistencia térmica y mecánica. En la industria eléctrica y electrónica, se emplea en conectores, encapsulantes y aislantes debido a sus propiedades dieléctricas y resistencia química. Otros sectores, como el aeroespacial, médico y químico, también se benefician de las propiedades del PPS.

Estos polímeros suelen ir mezclados con otros materiales como el PTFE, o bien fibras de aramida o grafito con el fin de mejorar el comportamiento frente a la fricción o el desgaste. Así mismo, se le suelen añadir cargas de fibra de vidrio [5] o carbono [6,7,8] para incrementar su rigidez, siendo remarcable la influencia de la fibra de carbono en el comportamiento a fatiga de los materiales.

## PERSPECTIVAS FUTURAS

El PPS continúa siendo objeto de investigación y desarrollo para mejorar sus propiedades y ampliar su campo de aplicación. Las investigaciones se centran en la obtención de PPS con mayor resistencia al fuego, mayor resistencia a la fatiga y mayor tenacidad. Asimismo, se investiga la combinación de PPS con otros materiales para obtener compuestos con propiedades mejoradas, como refuerzos de fibra de vidrio y de fibra de carbono y mezclas con otros polímeros de altas prestaciones.

## CONCLUSIONES

El Polisulfuro de Fenileno (PPS) ha experimentado una evolución notable a lo largo de los años, consolidándose como un material de altas prestaciones en diversas industrias. Sus propiedades excepcionales, combinadas con los avances en su síntesis y formulación, han permitido su aplicación en aplicaciones exigentes. Las investigaciones en curso prometen nuevas innovaciones en el PPS, lo que lo convierte en un material prometedor para el futuro de los materiales de altas prestaciones.

## REFERENCIAS

- [1] Bhattacharyya D., Ray A. K. (2012) Polyphenylene Sulfide (PPS) Composites. En: Polymer Matrix Composites. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [2] Chung D. D. L. (2010) Polyphenylene Sulfide (PPS). In: Composite Materials. Springer, London.
- [3] Gupta B. B., editor. (2015) Handbook of Thermoplastics (Second Edition). CRC Press, Taylor & Francis Group.
- [4] Gao Y., Xu J. (2018) Polyphenylene Sulfide (PPS) Composites: Manufacturing, Properties, and Applications. In: Advanced Composite Materials. Springer, Singapore.
- [5] Karger-Kocsis J. (2014) Polyphenylene Sulfide (PPS) Fibers and Composites. In: Polyphenylene Sulfide. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- [6] W. Luo, Q. Liu, Y. Li, S. Zhou, H. Zou, and M. Liang, "Enhanced mechanical and tribological properties in polyphenylene sulfide/polytetrafluoroethylene composites reinforced by short carbon fiber," *Compos. Part B Eng.*, vol. 91, pp. 579–588, 2016, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.01.036
- [7] Karen Stoeffler, Stefan Andjelic, Nathalie Legros, Judith Roberge, Steen B. Schougaard, Polyphenylene sulfide (PPS) composites reinforced with recycled carbon fiber, *Composites Science and Technology*, Volume 84, 2013, Pages 65-71
- [8] Tanaka, K., Yamada, D., Oharada, K., Shimizu, K. Anisotropic fracture mechanics approach to fatigue crack propagation in short carbon-fiber reinforced PPS. (2016) *Zairyo/Journal of the Society of Materials Science, Japan*, 65 (12), pp. 849-855

## Caracterización de mezclas binarias de Ácido Poliláctico con Bio-polietileno de alta densidad.

Miranda, M.<sup>(1)</sup>, Hernández, D. <sup>(1)</sup>, Seis, B.<sup>(1)</sup> Serrano, P.<sup>(1)</sup> Vargas, T.<sup>(1)</sup>

*(1) Instituto de Tecnología de Materiales, Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi (Alicante) 1, 03801, Alcoy, departamento, Universidad, email:mmirpin@epsa.upv.es*

### RESUMEN

En el presente proyecto se evaluarán las mezclas binarias de Ácido Poliláctico (PLA) y Bio-Polietileno de alta densidad (Bio-HDPE) a diferentes concentraciones, dichas mezclas se caracterizarán realizando 4 grupos de técnicas, en primer lugar los análisis mecánicos como dureza, tracción y resistencia al impacto (Charpy), un segundo grupo referente a las propiedades térmicas del material con ensayos como la calorimetría diferencial de barrido (DSC) y el análisis térmico mecánico-dinámico (DMTA), un tercer grupo referente a una caracterización superficial de las muestras mediante un proceso de microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM) y por último ensayos que permiten conocer la composición de la muestra como espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) con reflectancia total atenuada (ATR). Estos análisis permitieron realizar una caracterización apropiada de las mezclas y de sus propiedades de manera general, obteniéndose que las muestras con una concentración de 25% de PLA-HDPE presentaban propiedades adecuadas para su uso en aplicaciones específicas, al momento de contemplar la superficie de estas se puede observar que la falta de un compatibilizante influirá principalmente en la disminución de las propiedades mecánicas, esto puede corregirse y evaluarse en posteriores ensayos.

**Palabras clave:** agente compatibilizante, ácido poliláctico, biopolímero, bio-polietileno de alta densidad, FESEM

### INTRODUCCIÓN

Con el fin de mitigar los impactos ambientales negativos de las acumulaciones de desechos plásticos que contienen polímeros tradicionales, se han dedicado considerables esfuerzos de investigación a lo largo de los años para explorar el uso de materiales poliméricos biodegradables en la industria de fabricación de plásticos [1, 2]. El ácido poliláctico (PLA) es una familia prometedora de plásticos que se produce mediante el procesamiento químico de monómeros bioderivados [3]. Al derivar de recursos renovables, el PLA tiene algunas características atractivas, como la biodegradabilidad y los bajos costes de fabricación. Por otro lado, el polietileno, es uno de los polímeros más utilizados y que constituyen la mayor parte de los residuos plásticos acumulados, se fabrica a partir de gas etileno y se considera un muy buen candidato para el reciclaje debido a sus propiedades de degradación térmica [4, 5].

### OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es evaluar las propiedades mecánicas, térmicas, y microscópicas de las mezclas binarias de ácido poli láctico (PLA) y polietileno de alta densidad de base biológica (BioHDPE).

## MÉTODOS EXPERIMENTALES

### Materiales y preparación muestras

Las mezclas de PLA y BioHDPE se obtuvieron usando PLA de grado comercial Luminy<sup>R</sup> L130 que fue suministrado por Total Corbion (Gorinchem, Países Bajos), con una densidad de 1,24 g/cm<sup>3</sup> y PE Biobasado de alta densidad (0,955 g/cm<sup>3</sup>) SHA7260 de grado comercial de Braskem suministrado por (FKuR Kunststoff GmbH, Willich, Alemania). Este grado de HDPE se caracteriza por un contenido mínimo de polímero de base biológica de alrededor del 94 %. Los gránulos de PLA y BioHDPE se secaron a 60°C durante 24 horas. Las mezclas se procesaron en una extrusora de doble husillo con una velocidad de 60 rpm y un perfil de temperatura entre 172 y 180°C. Posteriormente, el material fue procesado en una máquina de moldeo por inyección Xplore (España) a 180°C para la obtención de probetas normalizadas tipo B1 (según la norma UNE-EN ISO 20753-2019 para ensayos de tracción e impacto Charpy).

**Tabla 7.** Composición de mezclas de ácido Polilactico/Bio-polietileno de alta densidad (PLA/BIOHDPE)

<b>Muestra</b>	<b>PLA ( wt %)</b>	<b>BioHDPE (wt %)</b>
1	100	0
2	75	25
3	50	50
4	25	75
5	0	100

## RESULTADOS

### Técnicas de caracterización

#### Propiedades mecánicas

Los ensayos de tracción se realizaron a temperatura ambiente con una máquina IBERTEST ELIB 30 (S.A.E. Ibertest, Madrid, España) siguiendo la norma ISO 527. Los ensayos se realizaron con una velocidad de cruceta de 10 mm/min<sup>-1</sup> utilizando una célula de carga de 10 kN. Se probaron cinco muestras diferentes de cada proporción y se calcularon los valores promedio de alargamiento a la rotura, resistencia a la tracción y módulo elástico.

**Tabla 8.** Propiedades promedio de las mezclas.

<b>Muestra</b>	<b>Resistencia Máxima (MPa)</b>	<b>Alargamiento (%)</b>	<b>Módulo elástico (MPa)</b>
1	69,0	6,17	27,7
2	50,0	6,55	19,4
3	36,0	6,11	13,0
4	28,0	167	9,13
5	20,0	300	-

Para obtener la capacidad de absorción de energía de las diferentes composiciones, se realizó el ensayo de impacto Charpy con un péndulo Charpy (1-J) de Metrotec S.A. (San Sebastián, España) siguiendo la norma ISO 197:1993 sobre muestras con entalla. En la siguiente figura se aprecia que el PLA puro se caracteriza por tener una baja energía de impacto. Sin embargo, la primera mezcla con BioHDPE resultó en una disminución en la capacidad de absorción. Esta falta de interacción promueve un fenómeno de concentración de tensiones que conlleva a un material más frágil.

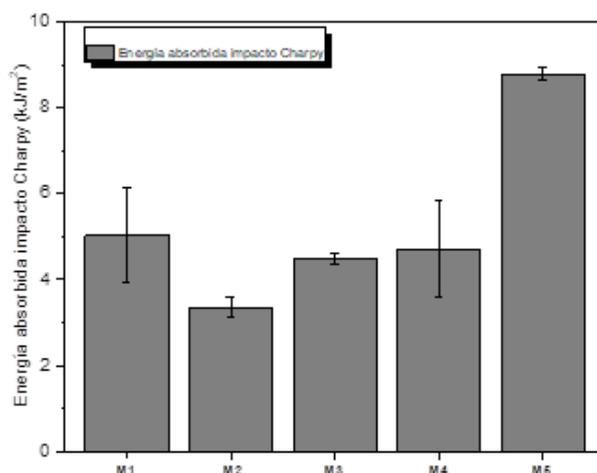


Figura 7. Energía absorbida promedio (kJ/m<sup>2</sup>) ensayo Charpy.

### Propiedades térmicas

Se realizaron ensayos de calorimetría diferencial de barrido (DSC) en un calorímetro Mettler-Toledo 821 (Schwerzenbach, Suiza) en atmósfera de nitrógeno (caudal 66 mL min<sup>-1</sup> con etapa de calentamiento de 25°C a 200°C con una velocidad de calentamiento de 10°C/min.

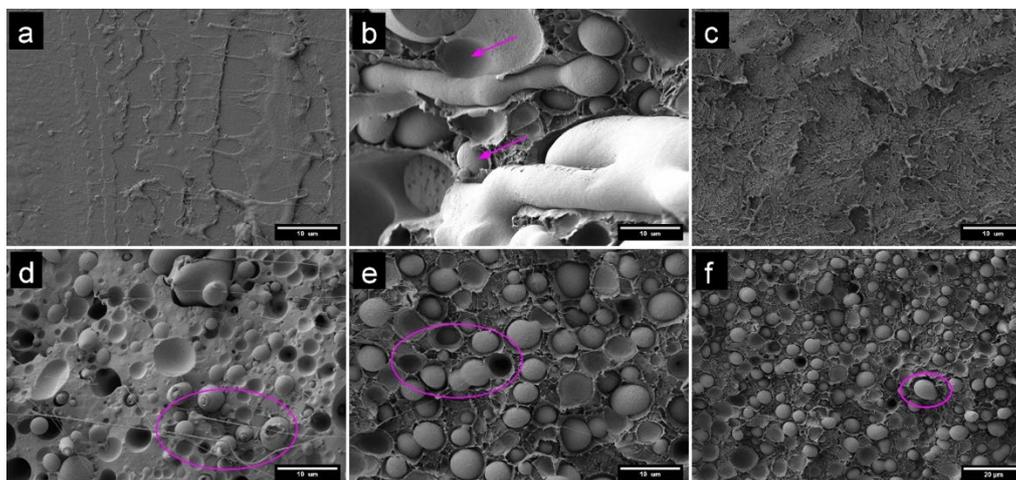
Tabla 9. Propiedades térmicas de las muestras (DSC)

Muestra	T Fusión HDPE (°C)	T Fusión PLA (°C)	T <sub>g</sub> PLA (°C)	% Cristalinidad
1	-	178	69,5	23,9
2	129	173	58,9	27,6
3	131	173	58,4	26,1
4	132	172	60,6	7,30
5	132	-	-	-

### Microscopía electrónica de barrido de emisión de campo (FESEM)

La morfología de las mezclas PLA-BioHDPE se estudió a través de la caracterización de la superficie de las muestras fracturadas de las pruebas de impacto. Las morfologías se analizaron mediante un microscopio electrónico de barrido con emisión de campo (FESEM), ZEISS ULTRA 55 (Oxford Instruments, EE. UU) a una tensión de aceleración de 2 kV. Todas las muestras se recubrieron con una fina capa de platino utilizando un alto recubridor por pulverización al vacío modelo EM MED020 de Leica (Viena, Austria).

La morfología revelada por la técnica microscópica evidencia que el PLA tiene una superficie lisa, presentando una fractura frágil, mientras que el BioHDPE se caracteriza por una fractura dúctil. En las mezclas existe una típica estructura “isla en mar” en donde el componente menor está disperso en forma de dominios esféricos con espacios en la matriz circundante, debido a falta de miscibilidad, lo que implica malas propiedades mecánicas. Esto se puede solucionar mediante un compatibilizante que eliminaría los problemas ya mencionados.



**Figura 8.** FESEM a) Muestra PLA 100% 2000x b) Muestra PLA 50% Bio-PE 50% 2000x c) Muestra Bio-100 % 2000x d) Muestra PLA 75% Bio-PE 25% 2000x e) Muestra PLA 25% Bio-PE 75% 2000x f) Muestra PLA 25% Bio-PE 75% 1000x

## CONCLUSIONES

En general el comportamiento mecánico del PLA+BioHDPE dependiendo de la aplicación que se desee se obtiene mejoras en lo referente al módulo de elasticidad y a la resistencia del material, no obstante, al ser una mezcla inmisible genera una baja adherencia interfacial lo que promueve un fenómeno de acumulación de tensiones que conlleva a un material más frágil.

## REFERENCIAS

- [1] Kaseem, M; Hamad, K; Deri, F (2012) Thermoplastic starch blends: a review of recent works. *PolymSci Ser A* 54:165–176. <https://doi.org/10.1134/S0965545X1202006X>
- [2] Hamad, K, Kaseem; M, Ko, YG; Deri F (2014) Biodegradable polymer blends and composites: an overview. *Polym Sci Ser A* 56:812-829. <https://doi.org/10.1134/S0965545X14060054>
- [3] Hamad, K, Kaseem; M, Yang HW et al (2015) Properties and medical applications of polylactic acid: a review. *Express Polym Lett* 9: 435-455. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2015.42>
- [4] Patel RM (2016) Polyethylene. In: Wagner JR (ed) *Multilayer flexible packaging*, second. Elsevier, pp 17–34
- [5] Ayadi A, Kraiem D, Bradai C, Pimbert S (2012) Recycling effect on mechanical behavior of HDPE/glass fibers at low concentrations. *J Thermoplast Compos Mater* 25:523–536. <https://doi.org/10.1177/0892705711411343>

## Modificación de biopolímero de base poliácido láctico incorporando nanopartículas de restos vegetales

Sempere, Jaume<sup>(1)</sup>, Samper, M<sup>a</sup> Dolores<sup>(1)</sup>, Arrieta, Marina P.<sup>(2)</sup>

(1) Instituto Universitario de Tecnología de Materiales (IUTM), Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n. 03801, Alcoy (Alicante),

(2) Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid (ETSII-UPM), Madrid, Spain,

e-mail: [jausemto@upv.es](mailto:jausemto@upv.es), [masammad@upv.es](mailto:masammad@upv.es), [m.arrieta@upm.es](mailto:m.arrieta@upm.es)

### RESUMEN

En este trabajo se propone aumentar las propiedades barrera del poli(ácido láctico) (PLA) incorporando otro biopolímero más cristalino, el poli(hidroxibutirato) (PHB). Para ellos, se prepararon mezclas de PLA con un 25% p/p de PHB y, para incrementar la compatibilidad y la flexibilidad de las mezclas biopoliméricas de PLA-PHB, se añadió un 2,5 phr de aceite de maíz maleinizado (MCO: maleinized corn oil). Los materiales se reforzaron con un 1 y 3 % p/p de nanopartículas obtenidas a partir de residuos vegetales de té negro (BTNs: Black Tea nanoparticles) y Yerba Mate (YMNs: yerba mate nanoparticles). Los materiales se procesaron por extrusión simulando las condiciones industriales y se caracterizaron teniendo en cuenta su potencial aplicación en el sector del envasado de alimentos.

**Palabras clave:** Biopolímero, nanopartículas, residuos vegetales, PLA, PHB.

### INTRODUCCIÓN

La gran demanda de materiales plásticos en las últimas décadas, sobre todo aquellos con un ciclo de vida muy corto, está contribuyendo de forma alarmante a la contaminación ambiental. En respuesta a estos problemas, se ha incrementado la investigación y producción de materiales a partir de recursos renovables. Sin embargo, muchos de ellos consumen grandes cantidades de biomásas que normalmente se habrían utilizado para la alimentación [1,2].

Por ello, se ha incrementado la investigación sobre residuos orgánicos posconsumo y residuos sobrantes de líneas de producción en el sector alimentario con el fin de aplicar un enfoque de economía circular. También existe la posibilidad de obtener aditivos, nanorrellenos y materiales de refuerzo a partir de residuos vegetales para incorporarlos a una mezcla de biopolímeros, con el fin de modificar las propiedades de los materiales evitando el uso de materiales vírgenes [1].

### OBJETIVOS

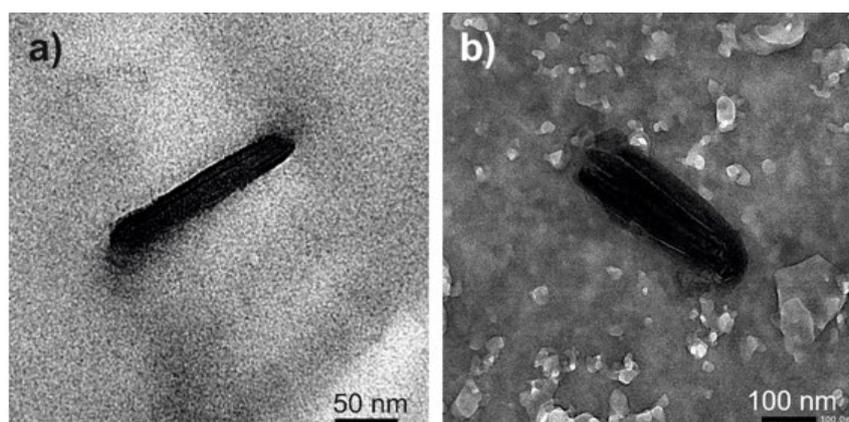
Los objetivos del presente trabajo es la obtención de nanopartículas a partir de residuos vegetales de infusiones de té negro (BTNs: Black Tea nanoparticles) y Yerba Mate (YMNs: yerba mate nanoparticles). Con las nanopartículas obtenidas se realizará

nanocompuestos utilizando como matriz un blend con un 75% PLA, un 25% de PHB [2] y un 2,5 phr de MCO como agente plastificante-compatibilizante, con la finalidad de obtener un nanocompuesto con propiedades mejoradas respecto al PLA [1]. Todos los nanocompuestos fueron realizados mediante extrusión, reforzando los nanocompuestos con un 1 y 3 % p/p de nanopartículas respecto a la matriz.

Las nanopartículas fueron caracterizadas mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) para corroborar el tamaño nanométrico y los diferentes nanocompuestos fueron caracterizados mediante ensayos de tracción, colorimetría y comportamiento barrera de los films obtenidos.

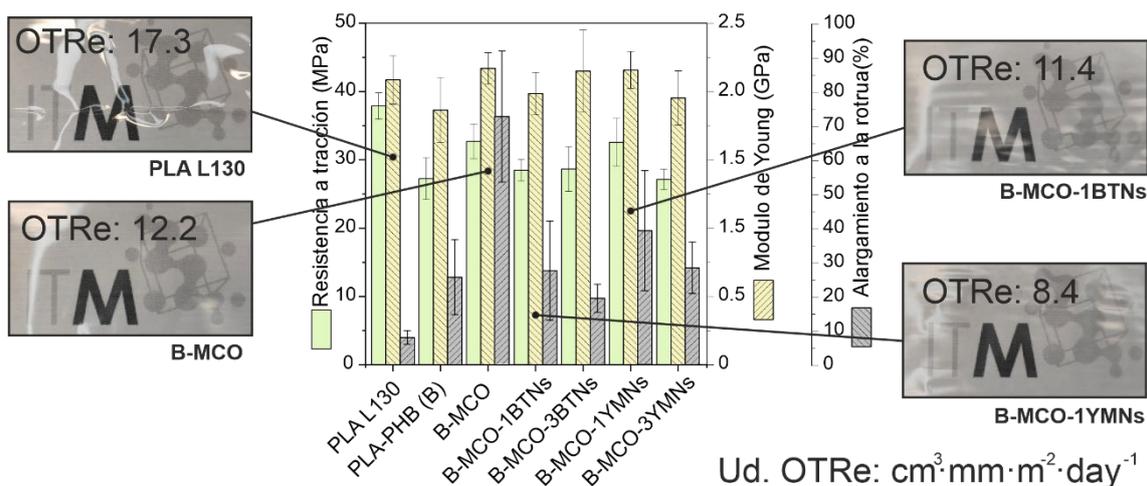
## RESULTADOS

Las nanopartículas fueron extraídas a partir de los residuos de infusiones de yerba mate y té negro utilizando el método de extracción acuoso [3]. Las imágenes TEM de las YMNS (figura 1.a) y BTNs (figura 1.b), revelaron que ambas partículas tienen escala nanométrica con dimensiones de 162 x 28 nm para la YMN y 164 x 57 nm para a BTN. Por tanto, la extracción de las nanopartículas de ambos residuos fue correcta.



**Figura 1.** Imágenes de a) YMNs a x100 y b) BTNs a x50.

Las nanopartículas fueron introducidas en una matriz de PLA-PHB-MCO y se evaluaron diferentes propiedades. En lo que respecta a los resultados del ensayo de tracción (figura 2), se puede apreciar que la adición de un 25% p/p de PHB al PLA genera una disminución de la resistencia a tracción, pero el alargamiento a la rotura aumenta más de un 200% respecto al PLA. Al añadir un 2,5 phr de MCO a la mezcla PLA-PHB, aumentan tanto la resistencia a tracción, un 20% respecto de la mezcla, y el alargamiento, en este caso en más de un 800% respecto al PLA. Este aumento de propiedades confirma el efecto tanto plastificante como compatibilizante del MCO entre el PLA y el PHB. Al añadir las diferentes nanopartículas, 1 y 3% de YMNs y BTNs, la resistencia a tracción disminuye entre un 1 y un 20% respecto a la mezcla PLA-PHB-MCO y el alargamiento también disminuye situándose entre 19,5 y 39,2 % a la rotura al incorporar las nanopartículas, siendo la reducción más significativa cuando la cantidad de nanopartículas es del 3%. Sin embargo, el alargamiento a la rotura se ha mejorado en todos los casos respecto al PLA. Además, los valores de resistencia máxima, módulo de Young y alargamiento a la rotura son superiores los obtenidos con los nanocompuestos al 1% p/p de nanopartículas que la mezcla PLA-25%PHB.



**Figura 2.** Propiedades mecánicas, apariencia y OTRe de la mezcla PLA-PHB-MCO con nanopartículas obtenidas de residuos de infusiones.

Las propiedad barrera que ha sido evaluada es la tasa de transmisión de oxígeno por espesor de película (OTRe) (figura 2). La adicción de un 25% de PHB a la matriz de PLA provoca una disminución de esta propiedad hasta los  $12,2 \text{ cm}^3 \text{ mm m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ , un 30% menos que el PLA. Además, la incorporación de un 1% de nanopartículas de los residuos de infusiones también disminuye este valor, siendo la disminución más acusada cuando se utiliza el 1% de YMNs ( $\text{OTRe} = 8,4 \text{ cm}^3 \text{ mm m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ). Si se comparan los resultados obtenidos con los de otros polímeros usados frecuentemente en aplicaciones de envasado, como el polietileno de baja densidad ( $\text{LDPE} \approx 160 \text{ cm}^3 \text{ mm m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ) y el polietilentereftalato ( $\text{PET} \approx 3 \text{ cm}^3 \text{ mm m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ), los films con nanopartículas realizados en el presente trabajo presentan propiedades barrera aceptables para aplicaciones con barrera de oxígeno media [2].

Los resultados obtenidos en los parámetros de color están incluidos en la tabla 1, además la apariencia de dichos films se pueden observar en la figura 2.

**Tabla 1.** Parámetros CIEALAB de los nanocompuestos desarrollados, films entre 40-60  $\mu\text{m}$ .

Muestra	L*	a*	b*	Brillo	$\Delta E^*$
Color Blanco	99,47±0.00	-0,09±0.01	0.07±0.01	121	-
PLA	99.35±0.01	-0.09±0.02	-0.02±0.01	261±5	-0.21±0.01
PLA-PHB (B)	99.04±0.06	-0.09±0.01	0.25±0.02	256±3	-0.21±0.05
B-MCO	98,88±0.03	-0.15±0.01	0.49±0.03	237±3	-0.23±0.1
B-MCO-1BTN	96,75±0.12	0.36±0.03	3,91±0.18	190±1	1.57±0.09
B-MCO-1YMN	97,35±0.05	-0.36±0.02	3.88±0.13	168±6	1.42±0.08

Se puede apreciar que todos los films poseen una elevada transparencia (figura 2), con una luminosidad superior a 99. Sin embargo, al añadir las nanopartículas esta luminosidad disminuye, situándose entre 96 y 98. Las muestras sin nanopartículas también presentan un elevado brillo, entre 237 y 261, y al incluir las nanopartículas disminuye hasta 190 para un 1% de BTN y 168 para un 1% de YMN, aunque aún se pueden considerar que presentan brillo. En cuanto a las coordenadas, la incorporación

de las nanocargas tiene el mismo efecto en la coordenada  $b^*$ , siendo valores positivos en ambas muestras y, por tanto, es indicativo de desviación hacia el amarillo. En el caso de la coordenada  $a^*$  el comportamiento es diferente, el film obtenido con las nanopartículas BTNs presenta valores positivos, indicativo de tonalidades rojas y el film con nanopartículas YMNs presenta valores negativos, indicativo de tonalidades verdes.

## CONCLUSIONES

La extracción acuosa de las nanopartículas a partir de residuos vegetales de infusiones fue realizado con éxito, tal y como se ha podido observar en las imágenes TEM.

La utilización de aceite de maíz maleinizado provoca un efecto plastificante y compatibilizante en la mezcla PLA-25%PHB, ya que tanto la resistencia máxima a tracción y el alargamiento a la rotura aumentan. Por otro lado, la utilización de las nanopartículas de Yerba Mate y de Té Negro alteran las propiedades de los blends de PLA-PHB-MCO. Por un lado, la apariencia de los films se ve alterada, aunque se consiguen films con elevada transparencia y brillo, la adición de las YMNs genera films con un ligero tono verdoso y la de las BTNs presentan una ligera tonalidad rojiza. Por otro lado, la propiedad barrera OTRe mejora con la adición de dichas nanopartículas, sobre todo la incorporar un 1% de las BTNs. Sin embargo, los films con un 1% de YMNs presentan mejores propiedades a tracción que los que contiene un 1% de BTNs, tanto la resistencia máxima a tracción, módulo de Young y alargamiento a la rotura.

Por tanto, los films obtenidos con un 1% de nanopartículas BTNs y YMNs presentan unas características mecánicas y de barrera mejoradas respecto al PLA sin perjudicar excesivamente el aspecto de los films de PLA. Además, las propiedades barrera que presentan permiten su utilización para aplicaciones con barrera de oxígeno media.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por los proyectos de I+D+i PID2021-123753NA-C32 y PID2021-123753NA-C33 por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por “FEDER Una manera de hacer Europa” y TED2021-129920A-C43 y CNS2022-136064 por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la “Unión Europea NextGenerationEU/PRTR”.

## REFERENCIAS

- [1] Sempere-Torregrosa, J., Ferri, J. M., de la Rosa-Ramírez, H., Pavon, C., & Samper, M. D. (2022). “Effect of Epoxidized and Maleinized Corn Oil on Properties of Polylactic Acid (PLA) and Polyhydroxybutyrate (PHB) Blend”. *Polymers*, 14(19), p.p. 4205. <https://doi.org/10.3390/polym14194205>
- [2] Arrieta, M. P., Samper, M. D., López J., & Jiménez A. (2014). “Combined Effect of Poly(hydroxybutyrate) and Plasticizers on Polylactic acid Properties for Film Intended for Food Packaging”. *J Polym Environ*, 22, p.p. 460-470. <https://doi.org/10.1007/s10924-014-0654-y>
- [3] Arrieta, M. P., Peponi, L., López D., & Fernández-García, M. (2018). “Recovery of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) residue for the development of PLA-based bionanocomposite films”. *Ind Crops Prod*, 111, p.p. 317-328. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.042>

## Estudio de la capacidad de refrigeración del cuerpo humano de un chaleco con PCM's

M. Martínez-Albert<sup>(1)</sup>, M.C. García-Solbes<sup>(1)</sup>, J. Gisbert-Payá<sup>(2)</sup>, E. Bou-Belda <sup>(2)</sup>

(1) Departamento de confort, Asociación de Investigación de la Industria Textil, Alcoy, España, [mimartinezal@aitex.es](mailto:mimartinezal@aitex.es).

(2) Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València, Alcoy, España, [evbobel@upvnet.upv.es](mailto:evbobel@upvnet.upv.es).

### RESUMEN

La sensación de bienestar térmico del usuario depende de las condiciones ambientales a las que se encuentre, su actividad y vestimenta. Ante ambientes de frío o calor, el confort térmico se ve modificado y el usuario necesita de mecanismos, tanto del propio cuerpo como externos, para volver a su estado de equilibrio. En trabajos al aire libre, las condiciones ambientales y la actividad no se pueden controlar, pero si se puede adecuar la vestimenta que el trabajador utiliza. Ante situaciones de calor, las prendas refrigerantes son un ejemplo de mecanismo externo de disipación del calor corporal y se pueden utilizar con la vestimenta o uniforme del trabajador. En este estudio se analiza el rendimiento de un chaleco refrigerante con PCM's, una de las prendas refrigerantes de mayor uso, mediante un método estandarizado conforme a la norma ASTM F2371:2016 y mediante un método propio de análisis que simula las condiciones de uso real de la prenda.

**Palabras clave:** confort, estrés térmico, chalecos refrigerantes, maniquí térmico, textiles termorreguladores, equipos de protección individual, PCM's.

### INTRODUCCIÓN

La temperatura interna de una persona está comprendida entre 36.1°C y 37.1°C, siendo la temperatura del hipotálamo la que más se asemeja a la temperatura interna del cuerpo [1]. Ante situaciones de calor, esta temperatura puede aumentar hasta los 40°C, sufriendo el cuerpo estrés por calor, y activándose diferentes mecanismos termorreguladores que ayudan al usuario a alcanzar su confort térmico. Las prendas refrigerantes son una ayuda adicional a los mecanismos termorreguladores, donde la finalidad de estas prendas es disminuir la temperatura corporal del usuario en situaciones de estrés térmico por calor.

#### - Chalecos refrigerantes

En el mercado existen multitud de prendas refrigerantes siendo los chalecos los más utilizados debido a que la zona del tronco es la región del cuerpo con mayor cantidad de receptores de temperatura y de mayor sensibilidad térmica [2]. Dentro de los chalecos refrigerantes, éstos se diferencian en el tipo de mecanismo utilizado para disipar el calor. Los chalecos refrigerantes más comunes son:

- Chalecos refrigerantes con sistema de circulación de fluidos.
- Chalecos refrigerantes con sistema de ventilación del cuerpo.
- Chalecos refrigerantes con PCM's.
- Chalecos refrigerantes que utilizan otras tecnologías.

La decisión del usuario sobre qué tipo de chaleco refrigerante utilizar dependerá del uso al que va destinado, su ergonomía, peso y coste económico de la prenda.

- **Chalecos con PCM's**

Como se ha comentado anteriormente, es una de las prendas de disipación del más utilizada. Las microcápsulas cambian de líquido a sólido, y viceversa, dependiendo del rango de temperatura en el que trabajan, siendo esta transición la que confiere el efecto termorregulador: cuando la microcápsula se encuentra en estado sólido, ante un incremento de temperatura, el PCM absorbe energía hasta alcanzar la temperatura de fusión de la microcápsula, cambiando ésta de sólido a líquido, que al absorber el calor corporal y aporta la sensación de frescor, y, al contrario, al estar el PCM en estado líquido, ante una bajada de temperatura, la microcápsula genera energía hasta que solidifica al alcanzar el punto de congelación, aportando en este caso un efecto calor [3]. Lo eficaz que sea el PCM y la duración de este efecto dependerá de la capacidad termal del PCM, la estructura del tejido y de la cantidad de PCM's aplicados al textil.

## OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es analizar el confort que tendría un usuario vistiendo un chaleco refrigerante con PCM's. Para este estudio se ha utilizado un método normalizado y un método de ensayo propio que combina un maniquí térmico asociado a un software específico que simula el sistema termorregulador de una persona en el cuerpo del maniquí, obteniendo así una estimación de diferentes parámetros fisiológicos del cuerpo humano en un equipo de laboratorio como es el maniquí térmico.

## EXPERIMENTAL

Para el estudio de la capacidad de refrigeración del chaleco con PCM's se han utilizado dos métodos de análisis diferentes, un método de análisis estandarizado y un método de análisis propio.

- **Materiales:**

El chaleco estudiado es un chaleco refrigerante que utiliza PCM's con una temperatura de fusión de 36°C. Este chaleco es talla M.

- **Instrumentación empleada:**

Para este análisis se han utilizado una cámara climática cuyas condiciones ambientales se fijan a 35°C, 40% de humedad relativa y una velocidad del viento de 0.4 m/s. En el interior de la cámara climática colocaremos el maniquí térmico. Este maniquí, que simula a una persona, posee distintos sensores de temperatura en su cuerpo, un sistema de moción para simular diferentes movimientos y además va provisto de un sistema de sudoración que permite al maniquí sudar.

- **Método de análisis estandarizado:**

El método de análisis estandarizado es conforme a la norma ASTM F2371:2016 utilizando el maniquí térmico. En este ensayo, el cuerpo del maniquí es calentado a 35°C en las condiciones ambientales anteriormente descritas, vistiendo el maniquí el chaleco refrigerante. En la primera parte del análisis, se realiza la medida de la energía que el maniquí necesitaría para mantener su temperatura corporal estable en 35°C sin los PCM's. Tras esta medida, se mide de nuevo la energía que el maniquí necesita para mantener de nuevo su temperatura corporal en 35°C llevando el chaleco con PCM's. La

duración de este ensayo se ha fija en 2 horas. Esta norma, sirve para comparar la eficacia de distintos chalecos refrigerantes, pero no sirve para conocer el bienestar térmico del usuario, y por esta razón, en este trabajo, utilizamos adicionalmente un método de análisis propio que sí nos permite conocer el confort térmico de estas prendas.

#### - Método de análisis propio:

En este análisis, asociado al maniquí térmico utilizaremos el Manikin PC Software para simular el sistema termorregulatorio de una persona en el maniquí que nos permitirá analizar parámetros subjetivos en un equipo de laboratorio objetivo. Los parámetros fisiológicos que obtendremos dependerán de la actividad física simulada, las condiciones ambientales y la prenda analizada. Respecto a la actividad, se debe fijar la energía que el usuario estaría generando, los METs. Para este método de ensayo se simularán estas actividades, con una duración de 20 minutos cada una: actividad ligera (1.4 METs), actividad ligera-media (2.8 METs), actividad media (4 METs), actividad media-alta (5 METs) y actividad alta (6.9 METs). Los datos de este análisis se tomarán solo de la zona del tronco ya que es la zona que más influencia tiene en el confort térmico del usuario y además es la zona cubierta por el chaleco. Se realizará la prueba con el maniquí sin el chaleco (prueba base) y con el maniquí con el chaleco refrigerante. Los parámetros que se determinarán en esta simulación son: confort térmico, sensación térmica, temperatura de la piel del maniquí ( $T_{sk}$ ) y temperatura del hipotálamo ( $T_{hy}$ ). El confort térmico se representa en escala numérica, siendo el 0 un confort neutro, 1 ligeramente cómodo, 2 cómodo, 3 muy cómodo, -1 ligeramente incómodo, -2 incómodo y el -3 muy incómodo. Respecto a la sensación, ésta también se representa en escala numérica, siendo el 0 una sensación neutra, 1 ligeramente caluroso, 2 calor, 3 mucho calor, -1 ligeramente fresco, -2 frío y -3 mucho frío.

## RESULTADOS

#### - Resultados según método normalizado ASTM F2371:2016

La energía necesaria para mantener la temperatura corporal del maniquí a 35°C sin los PCM's ha sido de 122 W/m<sup>2</sup> mientras que al colocar los PCM's la energía ha sido de 134 W/m<sup>2</sup> al comienzo del ensayo bajando de nuevo a una energía de 122 W/m<sup>2</sup> a las 2 horas de ensayo.

#### - Resultados según método de análisis propio

La figura 1 y figura 2 representan la temperatura de la piel y temperatura del hipotálamo respectivamente a cada actividad.

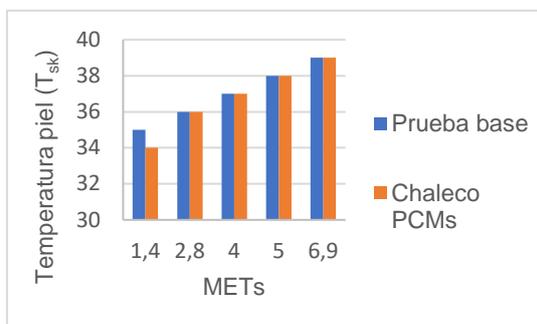


Figura 1. Temperatura de la piel.

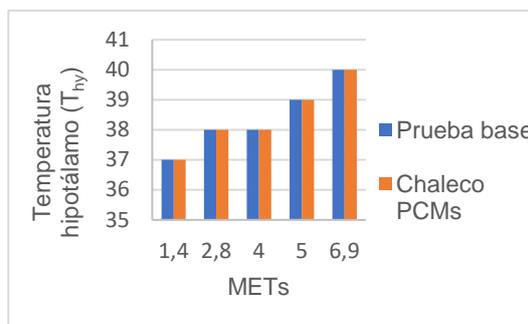
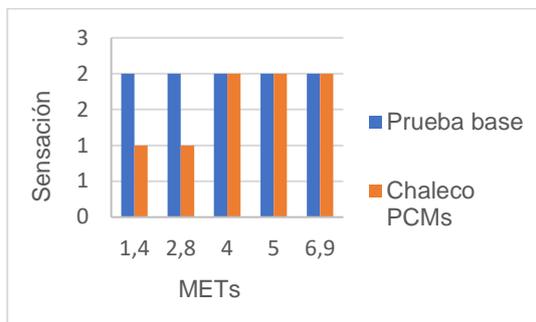
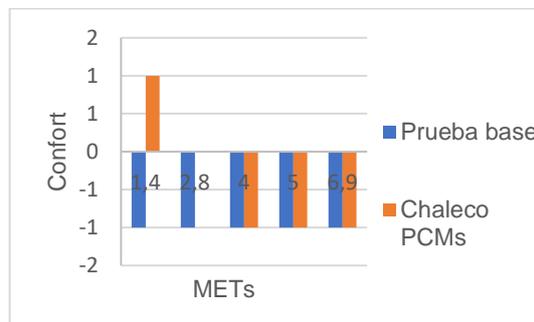


Figura 2. Temperatura del hipotálamo.

La figura 3 y figura 4 representan la sensación y el confort térmico respectivamente a cada actividad.



**Figura 3.** Sensación térmica.



**Figura 4.** Confort térmico.

## DISCUSIÓN

Según los resultados obtenidos en el análisis estandarizado, el chaleco refrigerante con PCMs estudiado tiene una baja capacidad de refrigeración de tan solo  $12 \text{ W/m}^2$  al inicio del ensayo siendo incluso nula al finalizar la prueba. Respecto a los resultados obtenidos en el método propio, tan solo en una actividad de 1.4 METs el chaleco es capaz de disminuir la temperatura de la piel de maniquí en  $1^\circ\text{C}$  mientras que la temperatura del hipotálamo del maniquí es la misma al utilizar el chaleco con PCMs que sin utilizarlo. Respecto a la sensación térmica, se puede observar como la sensación del maniquí utilizando el chaleco para una actividad de 1.4 METs y para 2.8 METs es de ligeramente calurosa frente a la sensación de calor del maniquí sin el chaleco, mientras que el confort térmico del maniquí vistiendo el chaleco refrigerante es de ligeramente confortable a 1.4 METs y neutro en 2.8 METS frente al ligeramente incómodo del maniquí sin el chaleco.

## CONCLUSIONES

Los chalecos refrigerantes con mecanismo de enfriamiento por PCM's ofrecen a actividades ligeras y ligeras-moderadas cierto grado de comodidad térmica pero su uso deja de ser beneficioso a partir de actividades de intensidad alta y a partir de cierto tiempo de uso. Por lo tanto, si el usuario no necesita un gran aporte de enfriamiento, el uso de este tipo de prendas es adecuado en actividades de baja intensidad y con un breve tiempo de uso.

## REFERENCIAS

- [1] Gómez, A E (2007). "Trastornos de la temperatura corporal. Etiología y medidas preventivas". *OFFARM*, v.26, n.7, p.p.48-53
- [2] Nishihara, N; Tanabe, S; Hayama, H; Komatsu, M (2002). "A cooling vest for working comfortably in a moderately hot environment". *Journal of physiological anthropology and applied human science*, p.p.75-82
- [3] Onder, E.; Sarier, N (2015). "Thermal regulation finishes for textiles". *Functional finishes for textiles*, p.p.18-98

## Aplicación de CBL a la toma de decisiones. Simulación de una factoría de envasado de cerveza

Trull Domínguez, Òscar<sup>(1)</sup>, Peiró Signes, Àngel<sup>(2)</sup>, Gómez Palacios, César<sup>(3)</sup>

(1) *Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad, Universitat Politècnica de València. [otrull@eio.upv.es](mailto:otrull@eio.upv.es)*

(2) *Departamento de Organización de Empresas, Universitat Politècnica de València. [anpeisig@omp.upv.es](mailto:anpeisig@omp.upv.es)*

(3) *Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad, Universitat Politècnica de València. [cegopa@eio.upv.es](mailto:cegopa@eio.upv.es)*

### RESUMEN

La utilización de metodologías activas en la enseñanza permite a los alumnos y a los profesores un cambio profundo en la forma de afrontar el proceso de enseñanza-aprendizaje. El enfoque tradicional donde el profesor centra su esfuerzo en el contenido cesa en favor de un nuevo enfoque en el que el alumno aprende por propia experiencia y decisión. Esto es fundamental para algunas áreas de conocimiento, como es la toma de decisiones. Un alumno no puede afrontar una toma de decisión empresarial si no es conocedor del funcionamiento del mismo.

La utilización del aprendizaje basado en retos, aplicado a una actividad experiencial diseñada, permite que el alumno se sienta inmerso en el proceso empresarial, de modo que se plantee sus propios retos y con ello desarrolle su capacidad de aprendizaje.

En esta ocasión hemos diseñado una actividad de simulación de una factoría de envasado de cerveza donde los alumnos se plantean sus propios retos y realizan la toma de decisiones acorde a sus objetivos.

En el artículo se describe los procedimientos para poder reproducir esta actividad, así como los resultados obtenidos en el ejercicio de la actividad.

**Palabras clave:** CBL, toma de decisiones, factoría.

### INTRODUCCIÓN

Aprender los métodos y herramientas para la toma de decisiones empresariales en el ámbito académico es un reto para los docentes. Por norma general es un proceso de gran dificultad para personas experimentadas, y debe proporcionarse un nivel de formación en técnicas a personas que nunca han vivido el ambiente empresarial. Los alumnos carecen de experiencia profesional que imposibilita la correcta transmisión de conceptos y procedimientos. Como consecuencia, el estudiante sigue ciertas instrucciones, pero no logra un aprendizaje profundo.

La asignatura de desarrollo de productos del Master Universitario en Gestión de Productos y Servicios (MGEPS) generalmente ha contado con actividades desarrolladas bajo la metodología de *Experiential Learning Activities* (ELA) de Kolb [1], ya que consideramos que la innovación en los procesos educativos es algo completamente necesario. Para la toma de decisiones en las actividades, los alumnos se basan en suposiciones; o, si es el caso, en el que han recibido formación en toma de decisiones

durante el primer cuatrimestre, las basan en una toma de datos. Como el alumnado es muy heterogéneo, resulta complicado el desarrollo de la actividad.

Así pues, se determinó la necesidad de buscar nuevas metodologías activas para contrarrestar esta variabilidad en el grupo. La metodología de aprendizaje basada en retos (CBL) involucra los alumnos desde el principio, partiendo de un problema real que es simulado en el contexto del aprendizaje [2]. Los alumnos determinan el reto a partir de una serie de indicaciones que da el profesor, de modo que así las ideas no divaguen [3].

Se decidió aplicar esta metodología de enseñanza a una actividad en la que los alumnos trabajan simulando el proceso de llenado y envasado de cerveza. Con la experiencia de este proceso, se les plantea un nuevo reto para generar un nuevo tipo de cerveza, y cómo poder producirlo. En el proceso, se deben tomar decisiones dentro de la incertidumbre de no saber cómo resultará el proceso con una nueva formulación. La formación en la toma de decisión se consigue a través de las preguntas y acciones tomadas.

En este artículo mostramos las indicaciones para poder reproducir la experiencia, así como las conclusiones obtenidas de la nuestra. Se describen los conceptos teóricos desarrollados, la metodología utilizada y los recursos mínimos necesarios para su reproducción.

## **METODOLOGIA**

### **Hipótesis y objetivos**

Las hipótesis de partida con las que se quiere realizar el estudio tienen los siguientes objetivos de mejora de la asignatura:

1. Cambiar la actividad de modalidad ELA a una metodología CBL.
2. Determinar si la nueva actividad favorece el aprendizaje requerido.

A partir de estos objetivos se lanzan la siguiente cuestión de investigación:

RQ: ¿Cuál es el impacto del CBL en la motivación del Máster?

### **Descripción de la actividad**

La actividad está organizada en 1 única sesión de 2 horas y 30 minutos. Al inicio de la sesión se describe la metodología a utilizar, indicando cómo proceder a lo largo de la actividad. Se establece como objeto de trabajo (Big Idea) crear un nuevo tipo de cerveza, con sabor, color, botella, etc. Luego se trabaja en fases de tiempo determinado siguiendo el esquema del CBL. Como apoyo, los alumnos disponen de un cartel (Figura 1) donde se les recuerda las fases.

A partir de esta idea, los alumnos plantean cuestiones esenciales, de modo que son capaces de determinar las necesidades y el alcance de la actividad. Las preguntas de tipo “¿Qué tenemos que hacer...?” no son respondidas. El objeto de esta fase es determinar qué necesidades exige nuestra gran idea (*Big Idea*) de modo que se establezca el reto. El reto de cada grupo se coordina con el profesor, de modo que tenga sentido para no divagar en las actuaciones.

Con la determinación del reto, comienza la fase más crítica del proceso de aprendizaje. El profesor actúa como guía, pero debe hacerlo de forma correcta para que los alumnos puedan aprender. Así, las preguntas “guía” (*guiding questions*) que surgen deben estar

relacionadas con la temática de la actividad. El profesor debe provocar esta creación de preguntas.



**Figura 1.** Cartel recordatorio de las etapas de la actividad.

Para que resulte efectivo, deben realizarse una serie de actividades guiadas (*guiding activities*) que permitan al alumno profundizar en el tema de estudio. Se plantean las siguientes actividades: Analizar la composición de la nueva cerveza; determinar el formato de la botella; crear la nueva etiqueta; Determinar el factor principal de la promoción de la nueva cerveza.

Los alumnos disponen de recursos adicionales en internet que les ayuda a determinar las preguntas necesarias para conseguir el reto. Además, se les proporciona herramientas exprofeso para la toma de decisiones. El momento más delicado es la selección de soluciones. Cada pregunta, actividad, y cualquier decisión tomada tiene como consecuencia un cúmulo de acciones y soluciones que aplicar. Aquí se valoran las actividades realizadas. La evaluación de las soluciones hace que se opte por una única decisión final.

Por último, los alumnos difunden su trabajo a los demás compañeros y grupos que valoran el trabajo realizado. Se valora la presentación y la solución adoptada. Esto forma parte de la evaluación de la asignatura, por lo que los alumnos ponen mucho empeño en realizarlo.

### Instrumentos de medida

La actividad finaliza con la realización de una encuesta que valora la RQ propuesta al inicio de la sección. Para ello se ha utilizado el *Motivational Diagnosis Instrument for Engineering Education* (MDI-EE), descrito en [4], con una escala de valores del 1 al 4. Esta se compara con una encuesta previa realizada a los alumnos y se valora el incremento en las dimensiones analizadas. La muestra ha sido de 18 alumnos.

## RESULTADOS

Los recopilación de los resultados de la encuesta se muestran en la Tabla 1. Se utilizan las medias para poder mostrar los valores de los indicadores utilizados.

**Tabla 1.** Media de los indicadores de la encuesta MDI-EE llevado a cabo.

Situación	M1	M2	M3	M4	M5	M6	MGen
Pre	3.15	2.05	1.87	3.03	3.12	2.76	3.01
Post	3.62	2.72	3.13	3.08	3.25	2.99	3.70

Se observa como en general los valores de los indicadores aumentan. El indicador *MGen* de motivación general aumenta de 3.01 a 3.70 demostrando que la actividad ha sido motivadora para los alumnos. Un análisis más exhaustivo de los indicadores proporciona la información de que la predisposición al estudio (*M3*) y la percepción de recompensa por el esfuerzo realizado (*M2*) son las que mayoritariamente se han incrementado.

## CONCLUSIONES

La utilización de la metodología CBL en la asignatura de desarrollo de productos en MGEPS ha reforzado el aprendizaje de los alumnos, pero, sobretodo, la motivación. La base del estudio indica que aumenta la predisposición del alumno hacia el estudio, y que se ve reforzado con las recompensas que obtienen. Esto indica que la actividad ha sido correctamente planificada y que debe extenderse a otras actividades de la misma índole. Siguiendo el proyecto de innovación educativa en el que el grupo de autores se encuentra inmerso, se procederá a implementar esta técnica en otras actividades de la misma asignatura, incluso de otras. El estudio tiene la limitación de que se ha implementado únicamente en un curso, pero se esperan resultados similares en cursos futuros.

## RECONOCIMIENTOS

Este artículo forma parte del Proyecto de innovación y mejora educativa PIME/21-22/266 IMPLEMENTACIÓN DEL APRENDIZAJE BASADO EN RETOS PARA LA TOMA DE DECISIONES EN NUEVOS PROYECTOS de la Universitat Politècnica de València.

## REFERENCIAS

- [1] Gadola, M.; and D. Chindamo; (2019). "Experiential learning in engineering education: The role of student design competitions and a case study." *Int. J. Mech. Eng. Educ.* vol. 47, no. 1, pp. 3–22, doi: 10.1177/0306419017749580.
- [2] Nichols, Mark H.; and Karen Cator (2008). "Challenge Based Learning White Paper". Cupertino, CA, US: Apple Inc.
- [3] Gaskins, WB; and J. Johnson; (2015). "Changing the Learning Environment in the College of Engineering and Applied Science Using Challenge Based Learning." *Int. J. Eng. Pedagog.* vol. 5, no. 1, pp. 33–41, Accessed: Sep. 20, 2021. [Online]. Available: <http://journals.sfu.ca/onlinejour/index.php/i-jep/article/view/4138>
- [4] López-Fernández, Daniel; Pedro P. Alarcón; and Edmundo Tovar; (2015). "Motivation in engineering education a framework supported by evaluation instruments and enhancement resources." *IEEE Glob. Eng. Educ. Conf. EDUCON*. vol. 2015-April, no. March, pp. 421–430, doi: 10.1109/EDUCON.2015.7096006.

## Estado del arte de la tribología de la Policetona

**Martínez Iborra, Juan Enrique<sup>(1)</sup>, Sánchez Caballero, Samuel<sup>(2)</sup>, De La Calle Salas, Alejandro<sup>(3)</sup>, Eixerés Tomás, Beatriz<sup>(4)</sup>, Crespo Amorós, Jose Enrique<sup>(5)</sup>**

*(1) Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, juamari3@epsa.upv.es*

*(2) Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, sasanca@dimm.upv.es*

*(3) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, aldel14a@epsa.upv.es*

*(4) Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, beaeito@dimm.upv.es*

*(5) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, jocream@dimm.upv.es*

### RESUMEN

La tribología es el estudio de la interacción de las superficies en movimiento relativo, incluyendo fenómenos como el desgaste, la fricción y la lubricación, con el objetivo de mejorar la eficiencia y la vida útil de los componentes y sistemas mecánicos. En este contexto, la Policetona (PK), un polímero conocido desde el pasado siglo, ha despertado un creciente interés debido a sus interesantes propiedades tribológicas. La reintroducción comercial de la PK en 2015 contribuyó a aumentar el interés en este material y vino acompañada de un aumento en los artículos publicados relacionados con la PK. Por lo tanto, este trabajo tiene como objetivo recopilar y analizar las publicaciones recientes más significativas sobre las propiedades tribológicas de la PK, contribuyendo así al avance en el estudio de este material.

**Palabras clave:** Policetona, Polyketone, PK, Desgaste, Tribología, Polímeros de Ingeniería.

### INTRODUCCIÓN

La policetona (PK) es un polímero de altas prestaciones que exhibe una alta resistencia mecánica, lo que le permite soportar cargas y tensiones significativas sin sufrir deformaciones permanentes. Así mismo posee una elevada estabilidad dimensional, una excelente resistencia química, y una alta resistencia térmica, lo que le permite operar a temperaturas elevadas sin perder sus propiedades mecánicas.

En lo que respecta a las propiedades tribológicas, exhibe una resistencia excepcional a la rotura, al impacto y a la abrasión, superando a otros plásticos como los poliésteres y las poliamidas en términos de resistencia química y a la permeación [1,2,3,4]. Además, la PK ofrece una buena estabilidad dimensional frente al calor, manteniendo sus propiedades incluso en condiciones de altas temperaturas, humedad o degradación hidrolítica [1]. Gracias a sus excelentes propiedades tribológicas, la PK se posiciona como una elección preferente para aplicaciones que requieren de un buen rendimiento excepcional en entornos complejos. No obstante, la adopción de la PK en aplicaciones con requisitos tribológicos se ha visto obstaculizada en parte debido a la escasez de investigaciones publicadas sobre este material. Afortunadamente, desde su recomercialización en 2015, el número de publicaciones relacionadas con este material se ha incrementado significativamente, con un crecimiento anual continuo en el número

de artículos publicados. Este aumento refleja un creciente interés en el material, y se están generando nuevos estudios para explorar sus propiedades y aplicaciones.

## OBJETIVOS

El propósito principal de este artículo es realizar un análisis del estado del arte sobre los avances en el estudio de las propiedades tribológicas de la PK, identificando los artículos más recientes, los autores y países relevantes, y evaluando si el número de publicaciones anuales está aumentando.

## RESULTADOS

En primer lugar, se realiza una búsqueda bibliográfica en Scopus de artículos relacionados con la tribología de la PK, observándose como se puede ver en la figura 1 que el número de publicaciones ciertamente ha aumentado tras su recomercialización y se aprecia una tendencia al alza, aunque siguen siendo escasos los artículos publicados cada año.



**Figura 9.** Publicaciones sobre tribología de la PK y línea de tendencia

Comparando los datos obtenidos con los de la cantidad de publicaciones relacionadas con la PK en el mismo rango temporal, los cuales se pueden observar en la figura 2, se puede ver como ambas gráficas tienen tendencias similares.



**Figura 10.** Publicaciones sobre la PK y línea de tendencia

A continuación, se analizan los datos sobre autoría y país de origen únicamente de los artículos publicados tras la recomercialización de la PK. En cuanto a los países con mayor número de publicaciones, se observa que más del 60% de ellas provienen de Asia, destacando especialmente China, mientras que el porcentaje restante corresponde a publicaciones europeas. Esta distribución se debe probablemente a que Hyosung Chemicals y AKRO-PLASTIC GmbH, las principales empresas fabricantes de PK a nivel mundial, son respectivamente de Corea del Sur y Alemania.

Por otro lado, en el mapa de redes de la Figura 4 se pueden observar los resultados sobre relevancia y relación entre autores en el estudio realizado sobre las redes de autoría. Los resultados del estudio muestran que, aunque algunos autores son más relevantes y citados que otros, no existe una interconexión entre los diferentes grupos de investigación y ningún autor destaca en cuanto a la cantidad de artículos publicados.

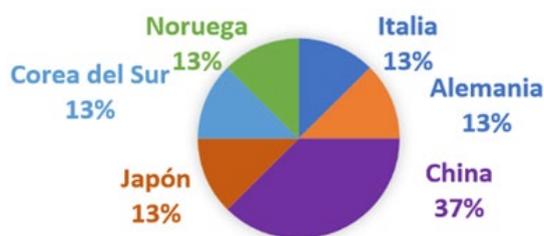


Figura 11. Publicaciones sobre tribología de la PK por países 2015-2023

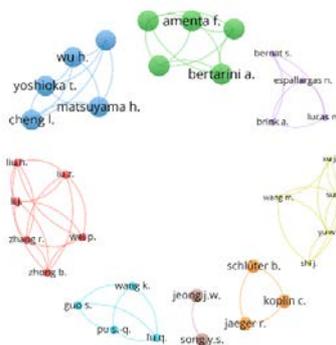


Figura 12. Mapa de redes de autoría sobre publicaciones de la tribología de la PK 2015-2023, con tamaño de los nodos en función a la cantidad de citas normalizada

Finalmente, en la tabla 1 se presentan los artículos recientes más relevantes encontrados durante la realización del estado del arte. Se puede observar que en la mayoría de estos no se estudia únicamente la PK, sino que se suele comparar los resultados de esta con otro material, y que las propiedades más comunes a estudiar son fricción y desgaste, cambiando en cada artículo las condiciones específicas del ensayo.

Tabla 10. Artículos más relevantes sobre la tribología de la PK en los años 2018-2023

Artículo	Fecha de publicación	Materiales ensayados	Propiedades relevantes estudiadas	Método de ensayo
[5]	2018	UHMWPE y PK	Coefficiente de fricción y desgaste bajo el agua	Pin-on-plate
[6]	2022	PTFE+GF y PK	Coefficiente de fricción y desgaste frente a diferentes superficies	Pin-on-disk
[7]	2022	POM y PK	Durabilidad y fatiga de engranajes bajo distintas lubricaciones	Durabilidad de engranajes
[8]	2022	UHMWPE, PA, PK	Creep, resistencia al desgaste y retención de la tenacidad	Test de abrasión y DMA
[9]	2023	PEEK y PK	Coefficientes de fricción y desgaste bajo distintas lubricaciones	Pin-on-disk y ball-on-plate

## CONCLUSIONES

En este artículo, se ha llevado a cabo una revisión del estado del arte sobre las propiedades tribológicas de la PK, la cual es reconocida por sus sobresalientes características y gran potencial en aplicaciones tribológicas.

Los resultados obtenidos muestran un incremento en el número de publicaciones anuales tras la recomercialización del material, tanto en publicaciones relacionadas con el material como con publicaciones centradas específicamente en el estudio de sus

propiedades tribológicas. Sin embargo, es importante destacar que el número de publicaciones anuales sigue siendo relativamente bajo y no se ha identificado ningún autor que se destaque por la cantidad de publicaciones en este campo.

Además, se ha observado una escasez de publicaciones relacionadas con la PK que involucren cargas o mezclas en su composición, lo cual indica que esta área de investigación parece carecer de atención en comparación con otros aspectos de estudio relacionados con el material.

Los hallazgos encontrados destacan la necesidad de promover y fomentar la investigación sobre las propiedades tribológicas de la PK, especialmente en lo que respecta a su comportamiento con cargas y mezclas, con el fin de continuar profundizando en ellas y mejorar la comprensión del material. Se espera que este artículo sirva como un punto de partida para futuros estudios en este campo, impulsando así el avance y desarrollo de la PK en aplicaciones tribológicas.

## REFERENCIAS

- [1] Sommazzi, Anna; Garbassi, Fabio (1997). "Olefin-carbon monoxide copolymers". *Progress in Polymer Science*, v. 22, n. 8, p.p. 1547-1605. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(97\)00009-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(97)00009-9)
- [2] Zuiderduin, W. C.J.; Vlasveld, Daniël P.N.; Huëtink, J.; Gaymans, Reinoud J. (2004). "Mechanical properties of polyketone terpolymer/rubber blends". *Polymers*, v. 45, n. 11, p.p. 3765-3779. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2004.03.080>
- [3] Lagaron, Jose M.; Powell, Anthony K.; Davidson, Neil S. (2000). "Characterization of the Structure and Crystalline Polymorphism Present in Aliphatic Polyketones by Raman Spectroscopy". *Macromolecules*, v. 33, n. 3, p.p. 1030–1035. <https://doi.org/10.1021/ma990302p>
- [4] Jeon, Ikseong; Lee, Seung Woo; Jho, Jae Young (2019). "Compatibilizing Effect of Poly(methyl methacrylate-co-maleic anhydride) on the Morphology and Mechanical Properties of Polyketone/Polycarbonate Blends". *Macromolecular Research*, v. 27, n. 8, p.p. 821–826. <https://doi.org/10.1007/s13233-019-7108-2>
- [5] Bernat, S.; Brink, A.; Lucas, M.; Espallargas, N. (2018). "Tribological Behavior of Polymer Seal Materials in Water-Based Hydraulic Fluids". *J. Tribol.*, v. 140, n. 6, p.p. 7. <https://doi.org/10.1115/1.4040078>
- [6] Amenta, Federica; Bolelli, Giovanni; De Lorenzis, Stefano; Bertarini, Alessandro; Lusvarghi, Luca (2021). "Tribological Behavior of Reinforced PTFE Composites and Un-Reinforced Polyketone-Based Materials against Coated Steel". *Lubricants*, v. 10, n. 1, p.p. 5. <https://doi.org/10.3390/lubricants10010005>
- [7] Zhong, Bingbing; Zhang, Renhua; Wei, Peitang; Liu, Huaiju; Li, Jing; Lu, Zehua (2022). "The Durability Performance of Polyketone Gears under Various Lubrication Conditions". *J. Tribol.*, v. 144, n. 9, p.p. 11. <https://doi.org/10.1115/1.4054140>
- [8] SUN, Bin; YU, Wenwen; SHI, Jiangao; WANG, Meng; XU, Junjie (2022). "Study on the suitability of polyketone monofilament material for fishing". *Journal of Fisheries of China*, v. 46, n. 11, p.p. 2218-2225. <http://dx.doi.org/10.11964/jfc.20210312679>
- [9] Koplín, Christof; Schlüter, Bernadette; Jaeger, Raimund (2023). "Running-In Effects of Lubricated Polyether Ether Ketone on Steel for Different Spreading and Sorption Tendencies". *Lubricants*, v. 11, n. 3, p.p. 135. <https://doi.org/10.3390/lubricants11030135>

## Análisis de rotura en banda modular industrial

**Eixerés Tomás, Beatriz<sup>(1)</sup>, Montava-Jordà, Sergi<sup>(1)</sup>, Martínez Iborra, Juan Enrique<sup>(1)</sup>, García Carrasco, Sergio<sup>(1)</sup>, Sellés Cantó, Miguel Ángel<sup>(2)</sup>**

(1) Instituto de Diseño y Fabricación (IDF), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, [beaeito@dimmm.upv.es](mailto:beaeito@dimmm.upv.es), [sermonjo@dimmm.upv.es](mailto:sermonjo@dimmm.upv.es), [juamari3@epsa.upv.es](mailto:juamari3@epsa.upv.es), [sergarc9@epsa.upv.es](mailto:sergarc9@epsa.upv.es),

(2) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España, [maselles@upv.es](mailto:maselles@upv.es)

### RESUMEN

Este estudio analiza las posibles razones del fallo por rotura de un tramo de banda modular de plástico en servicio.

La investigación comienza reproduciendo las condiciones de servicio en el equipo de tracción. El análisis de las superficies de fractura reveló defectos en el interior de los fragmentos.

Para determinar el origen del defecto y su efecto en la rotura, se sometió el material a una amplia caracterización mecánica y reológica. El desarrollo del análisis de elementos finitos demostró que la resistencia a la tracción de la pieza se reducía aproximadamente un 70% debido a los defectos internos. Las pruebas también mostraron que la zona más sometida a tensión era donde se localizaba el defecto. Las simulaciones del proceso de moldeo por inyección mostraron que el defecto estaba causado por la geometría de la pieza, concluyendo que la rotura se debía a un mal diseño.

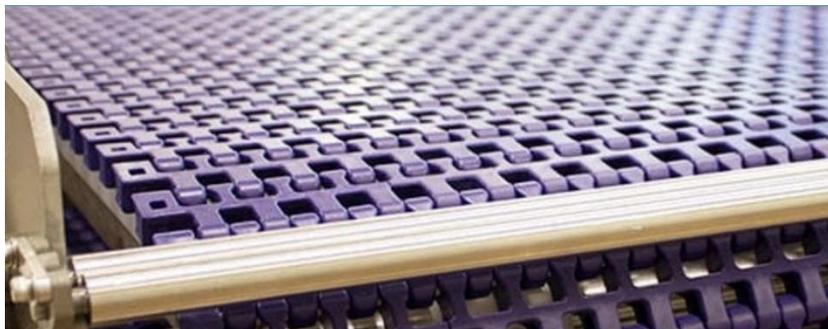
**Palabras clave:** Banda, FEM, eslabón, fallo, rotura.

### INTRODUCCIÓN

El uso de correas modulares de plástico para el transporte de materiales durante los procesos de producción está muy extendido en la industria. Estas bandas (Figura 1) llenan el vacío del mercado entre los transportadores de metal y banda y ofrecen numerosos beneficios, incluida la capacidad de manejar trayectorias curvas, diseño liviano, fuertes propiedades mecánicas y químicas. Estas bandas son particularmente ideales para su uso en industrias que tienen alto contenido de humedad o sal, así como en los sectores alimentario y químico [1]. Entre sus ventajas destacan su fácil instalación y configuración gracias a su diseño modular, así como su capacidad para transportar una amplia variedad de materiales, incluyendo productos secos, a granel y objetos delicados.

Las bandas modulares de plástico consisten en múltiples enlaces conectados por pasadores para formar el ancho de la correa, que van desde unos pocos centímetros hasta varios metros [2]. Estos enlaces funcionan como componentes de manejo y tracción. En esta investigación, mostramos un problema de fractura que ocurrió en una de las secciones más gruesas de la correa durante el servicio, a pesar de llevar una carga significativamente por debajo del límite recomendado por el fabricante. El estudio tiene como objetivo identificar la causa raíz del problema, teniendo en cuenta factores

como el uso inadecuado de la banda, la calidad del material, el proceso de fabricación y el diseño de los eslabones de la banda.



**Figura 1.** Ejemplo de una correa modular.

## MÉTODOS Y MATERIALES

Para identificar la razón de las roturas, se realizaron varias pruebas de tracción en los eslabones de la correa modular. Los resultados de estas pruebas y las superficies de las fracturas se analizaron a fondo. Además, el material se sometió a una caracterización mecánica y reológica para explorar cómo las propiedades del material y las técnicas de procesado afectaban la resistencia a la tracción de los eslabones de la correa.

### Prueba de tracción

El paso inicial del estudio consistió en probar la resistencia a la tracción de las correas. Para lograr esto, se crearon dos abrazaderas para sujetar el enlace de la misma manera que lo haría en condiciones de trabajo. A una velocidad de 1,2 mm/s, las pruebas se realizaron utilizando un sistema de adquisición de datos MGCPLUS de Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH en Darmstadt, Alemania, una célula de carga U3 de 100 kN de HBM y un transductor de desplazamiento WS1.1-750-R1K-L10 (ASM GmbH, Moosinning Alemania). El sistema recopiló datos sobre el tiempo, la fuerza y el desplazamiento a una frecuencia de 10 Hz.

### Análisis de tracción

Para realizar un Análisis de Elementos Finitos (FEA) para determinar la cantidad de resistencia a la tracción perdida debido a imperfecciones, fue necesario caracterizar primero el material. El enlace se fabricó utilizando YUNCON@ M90 (YunNan YunTianHua CO., China), un copolímero de acetal. Según lo indicado por el fabricante, los pellets se secaron en un deshumidificador MDEU1/10 (Industrial y Comercial Marse S.L., Barcelona, España) a 90 °C durante 4 horas y templando el molde a 70 °C. Las muestras se inyectaron a 200/200/180/170 °C, de acuerdo con las temperaturas recomendadas por el fabricante. Después de la inyección, se realizaron pruebas de tracción en las muestras utilizando una máquina de prueba de tracción universal ELIB 30 de S.A.E. Ibertest@ (Madrid, España), de acuerdo con las directrices ISO 527. Las pruebas se realizaron a 25 °C y con una humedad relativa del 50%, utilizando una célula de carga de 5 kN.

## Análisis FE

Después de caracterizar el material, se realizó un análisis estático de elementos finitos (FEA) en el enlace de la correa. Este análisis tuvo como objetivo determinar la carga teórica de fractura y evaluar el impacto de las imperfecciones en el proceso de fabricación. El modelo tridimensional del eslabón de banda proporcionado por el fabricante se creó utilizando Solidworks y mallado utilizando elementos tetraédricos (Tet10) en Ansys Workbench R18.2. Este proceso resultó en 29.893 nodos y 16.291 elementos. El FEA utilizó propiedades del material como el módulo de Young, la relación de Poisson y la tensión de fluencia obtenida del análisis de tracción del material. Los orificios inferiores se trataron como soportes fijos, y el desplazamiento máximo alcanzado en la prueba de enlace de banda se utilizó como desplazamiento remoto en el FEA.

## Análisis de inyección de moldes

Para identificar cualquier imperfección en la fabricación de la pieza, se llevó a cabo una simulación del proceso de inyección. El molde de inyección, proporcionado por el fabricante, se modeló en Solidworks y se importó al software Autodesk MoldFlow Insight. Los puntos de inyección utilizados durante la simulación se muestran en la Fig. 2. Se utilizó el modelo de viscosidad Cross-WLF y se obtuvieron propiedades reológicas a partir de las especificaciones del material YUNCON® M90. El tiempo de inyección (10 s), el tiempo de compactación (30 s) y la temperatura de enfriamiento (60 °C) utilizados en la simulación fueron los mismos que los empleados durante el proceso de fabricación del eslabón de banda.

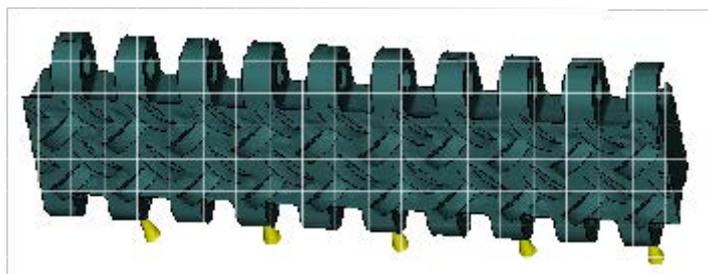
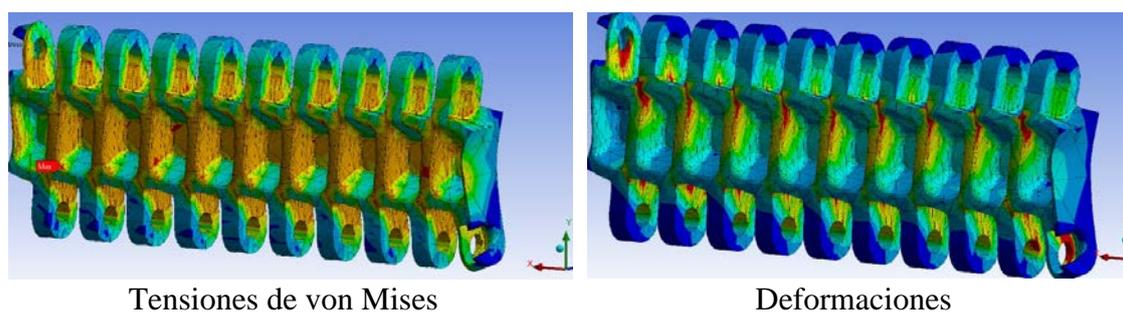


Figura 2. Modelo FE del molde.

## RESULTADOS

Se ha realizado un análisis estático de FE en los eslabones de la correa para determinar su resistencia teórica generando una deformación más allá del límite de deformación encontrado en el análisis de tracción del material. La zona de deformación elástica se modeló con comportamiento isotrópico lineal con un módulo de Young de 1.178 MPa y una relación de Poisson de 0,4, mientras que la zona plástica se simuló con plasticidad isotrópica y tensión elástica de 58,55 MPa. Los orificios inferiores se trataron como soportes fijos, y se aplicó al modelo un desplazamiento remoto de hasta 4,5 mm. Las distribuciones de estrés y deformación al inicio de la fractura se muestran en las Figs. 3 y 4. Como el mecanismo de fractura para polímeros termoplásticos sigue un comportamiento diferente del predicho por la teoría de elasticidad convencional después del inicio de grietas, no se utilizó la teoría de la mecánica de fractura elastoplástica (EPFM). En cambio, se asumió que la fractura teórica comienza en la tensión de rotura, ligeramente inferior a la resistencia a la tracción teórica.



**Figura 3.** Distribución de tensiones y deformaciones.

## CONCLUSIONES

Este estudio ha determinado que rotura de la correa de plástico modular no fue causada por sobrecarga, material o problemas del proceso de fabricación, sino más bien por un diseño deficiente de la pieza. Esta conclusión se extrajo de la caracterización mecánica del material, la simulación de deformación mediante elementos finitos y el análisis del proceso de fabricación. Los eslabones de banda probados experimentaron una reducción del 50% en la rigidez y una reducción potencial del 70% en la resistencia a la tracción en comparación con los valores teóricos. Si bien la variabilidad en las características mecánicas influyó en la resistencia a la tracción en un 25%, no pudo explicar únicamente la variación. La simulación del proceso de inyección reveló factores desfavorables, como la contracción, las líneas de soldadura, el flujo en zigzag y la variación del espesor, lo que llevó a la rotura de la pieza. No se puede culpar al fabricante por los defectos, ya que su material suministrado tenía una reología similar a la de otros fabricantes. Cambiar el material no es una solución viable, ya que los materiales alternativos como el polipropileno podrían tener su propio conjunto de desventajas.

## REFERENCIAS

- [1] Sumpf, J.; Bankwitz, K.; Nendel, F. (2014). "Novel calculation method for chain conveyor systems", *Logistics Journal*. [http://dx.doi.org/10.2195/lj\\_Rev\\_sumpf\\_en\\_201411\\_01](http://dx.doi.org/10.2195/lj_Rev_sumpf_en_201411_01).
- [2] Vaxman, A.; Narkis, N.; Siegmann, A.; Kenig, S. (1989) "Void formation in shortfiber thermoplastic composites", *Polymer Composites*. <http://dx.doi.org/10.1002/pc.750100609>.

## Desorción de colorante disperso en nanoarcilla hidrotalcita

López-Rodríguez, Daniel<sup>(1)</sup>, Jordán-Núñez, Jorge<sup>(2)</sup>, Micó-Vicent, Bàrbara<sup>(2)</sup>, Bou-Belda, Eva<sup>(1)</sup>

(1) *Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante), dalorod@upv.es, evbobel@upvnet.upv.es*

(2) *Departamento de Ingeniería Gráfica, Universitat Politècnica de València Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante), barmivi@upv.es, jorjornu@upv.es*

### RESUMEN

Las arcillas son consideradas unos grandes nanoadsorbentes de muchas materias y entre ellas se encuentran los colorantes textiles. Es de sobra conocida la aplicación de estos materiales para la limpieza de aguas residuales textiles, pero no es nada común encontrar aplicaciones al híbrido formado por la arcilla y el colorante. En este trabajo se utiliza este material arcilloso cargado de colorante para realizar nuevos baños de tintura y colorear un sustrato textil de poliéster (PES). Además, un mismo híbrido puede ser utilizado varias veces, ya que en una única tintura no agota todo el colorante que tiene adsorbido. El híbrido obtenido con hidrotalcita (nanoarcilla) y colorante disperse red 1 es analizado midiendo el color obtenido, realizando un análisis de difracción de rayos X que nos da información tras cada proceso de desorción-tintura y con la espectroscopia de infrarrojos se analizan las bandas concretas de cada grupo característico. Además, se realizan pruebas de solidez del color tras la tintura y lavado de las probetas de poliéster para comprobar la correcta fijación del colorante a la fibra. Estos resultados de solidez mostraron como la tintura se realizó de forma correcta y como si de una tintura convencional se tratara.

**Palabras clave:** Hidrotalcita; Nanoarcilla; Textil; Colorante disperso; Desorción

### INTRODUCCIÓN

En la naturaleza, se encuentran una amplia diversidad de arcillas, y muchas de las cuales han sido replicadas y mejoradas sintetizándolas en laboratorios, lo que amplía las posibilidades disponibles. Las nanoarcillas son elementos con una capacidad destacada para adsorber colorantes y, además, pueden ser reutilizadas en otros procesos industriales. En este estudio, se ha examinado la capacidad de adsorción de la hidrotalcita en colorantes textiles de naturaleza no iónica. El colorante utilizado fue el Disperse Red 1 C.I. 11110 (DR1), que es un colorante textil no iónico. Los colorantes dispersos se utilizan para tinter fibras de poliéster, nylon, acetato o mezclas entre ellos y con otro tipo de fibras, pero no se utilizan para tinter materias naturales como la seda, algodón o lana entre otros [1]. No se enlazan químicamente a las fibras [2], sino que forman una especie de aleación cuando se alcanza la temperatura de transición vítrea de la fibra y el colorante puede difundirse dentro de la estructura del textil. Diversos estudios ya atienden las capacidades de este mineral para adsorber colorantes [3]–[5] pero en la mayoría de los casos no se prestan a la posibilidad de desorción y reutilización del híbrido.

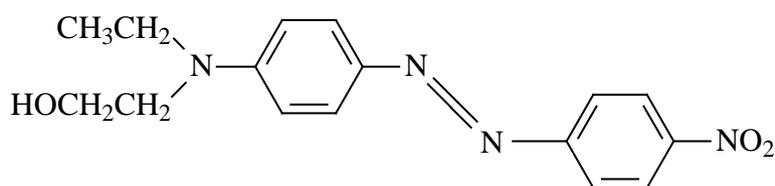
### OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es el de conseguir una adsorción efectiva del colorante disperso por parte de la hidrotalcita para en una fase posterior conseguir el proceso inverso desorbiendo ese

colorante. La intención es la de conseguir esa desorción lo más pura posible sin aditivos que puedan alterar la estructura del colorante y que permitan realizar un nuevo proceso de tintura.

## MATERIALES Y PROCESO EXPERIMENTAL

En este trabajo se ha utilizado un colorante no iónico sin polaridad de la clase disperso referenciado como Disperse Red 1 CI 11110 (DR1) del cual se muestra su estructura en la Figura 1. Al ser un colorante no iónico no podrá emplearse técnicas de intercambio iónico para su adsorción pero por otra parte se espera que contribuya a una desorción más eficaz y sencilla. Este colorante se distribuye comercialmente con cierta cantidad de agente dispersante para facilitar su dispersión en agua, ya que no es solubilizable. Cabe señalar debido a los objetivos de este trabajo que este colorante presenta una alta ecotoxicidad tanto antes como después de la cloración.



**Figura 1.** Estructura química del colorante no iónico Disperse Red 1

Para realizar la adsorción del colorante disperso será necesario utilizar un nanoadsorbente, en este trabajo se va a utilizar una arcilla del tipo LHD, concretamente la Hydrotalcite (H)  $Mg_6Al_2(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4(H_2O)$ . Debido a que el colorante que se va a trabajar es no iónico se podría trabajar con la H sin ningún tipo de preparación previa para incrementar su capacidad de intercambio de iones, aun así se ha decidido prepararla previamente siguiendo el trabajo de Dos Santos R.M.M. para poder comprar resultados con otros trabajos y futuras investigaciones. Esta preparación consiste en introducir la arcilla en un horno a  $600^\circ\text{C}$  durante 3 horas para destruir su estructura, la cual será reconstruida gracias a su memoria de forma cuando entre en contacto con el agua en la fase de adsorción de colorante.

Se preparan 5 L de baño de tintura únicamente con el colorante, sin añadir ningún tipo de sal, dispersante o cualquier otro producto, ya que el objetivo inicial es cargar la arcilla solo con colorante. Estos 5 L tienen una concentración de  $1\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  de colorante a los que una vez dispersado el colorante se les añaden  $3\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  de Hidrotalcita. A continuación la dispersión debe ser sometida a agitación para maximizar la adsorción de colorante. Dicha agitación se realiza con un agitador magnético y consta de dos fases. La primera se aplica una velocidad de agitación de 1600 r.p.m. durante un tiempo de 2 horas para en una segunda fase bajar a 500 r.p.m. durante 22 horas más para que el colorante ya adsorbido no salga de la arcilla debido a una agitación demasiado energética.

Tras haber conseguido la adsorción del colorante toca separar el híbrido obtenido del agua para lo cual se procede con un proceso de filtración para que por gravedad pase toda el agua y el híbrido arcilla-colorante quede frenado por el filtro que si dejara pasar el agua. Por lo que quedara la fase sólida en la parte superior mientras cae la parte líquida. Este proceso se lleva a cabo durante 48 horas para garantizar que toda el agua pasa por un papel de filtro de  $130\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$  con poros de  $25\text{-}30\ \mu\text{m}$  y un espesor de  $430\ \mu\text{m}$ . El agua que se ha recolectado se analiza en un espectrofotómetro de absorción para que con la información recogida y utilizando la ecuación 1 poder calcular la cantidad de colorante que ha quedado en el agua residual simulada. Paralelamente el híbrido sólido se seca a  $70^\circ\text{C}$  en una estufa de aire para acabar de eliminar cualquier resto que pudiera quedar, obteniendo de esta forma el híbrido (HDR1) resultado de la adsorción del colorante disperse red 1 y la hidrotalcita.

Tras estudiar las diversas experiencias de otros trabajos se decide aplicar una técnica diferente

a todas las anteriores para este estudio que se basa en aplicar un calor convectivo como es el de un baño a 130°C y al mismo tiempo introducir todos los elementos adicionales necesarios (dispersantes, sales, etc.) para llevar a cabo una tintura de PES. De esta forma la energía introducida es mucho más efectiva para realizar la separación, y al realizar la unión colorante fibra al mismo tiempo no es posible que el colorante vuelva a ser adsorbido por la arcilla.

## RESULTADOS

El objetivo de este trabajo es el de desorber todo el colorante posible que ha adsorbido la hidrotalcita y valorar la cantidad de materia textil que es capaz de tintar. Es por esto que se hace un seguimiento de la evolución del color que van obteniendo los tejidos conforme se van repitiendo las tinturas. Así pues en la Tabla 1 se pueden ver las medidas de los valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $h$ ,  $C^*_{ab}$  y la  $K/S$  de cada una de las seis tinturas que se han podido realizar hasta agotar el colorante que había en la arcilla.

**Tabla 1.** Valores  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*_{ab}$ ,  $h$  y  $K/S$  de cada tintura

Muestra	Tintura	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$C^*_{ab}$	$h$	$K/S$ (490 nm)
TDR1		32.43	50.26	30.71	58.90	31.43	29.87
T2DR1		35.04	51.61	31.56	60.50	31.45	26.03
T3DR1		44.50	53.30	36.49	64.59	34.40	17.67
T4DR1		64.94	36.41	25.39	44.39	34.89	2.51
T5DR1		74.90	23.19	16.64	28.54	35.66	0.81
T6DR1		83.34	10.32	11.83	15.70	48.89	0.25

## CONCLUSIONES

Después de conseguir adsorber colorante disperso no iónico por el nanoarsorbente (la hidrotalcita) se ha procedido de forma exitosa a realizar varias tinturas con ese híbrido. Para ello se ha realizado el proceso opuesto al de la adsorción del colorante, dicha desorción tiene un rendimiento lo suficientemente eficiente como para realizar unas tinturas de una alta tonalidad y croma, dando lugar a textiles de poliéster coloreados como si de una tintura convencional se tratara. Dicho proceso de desorción y tintura se ha podido realizar recolectando nuevamente la arcilla después de cada tintura y volviéndola a utilizar en un nuevo baño, todo esto de forma efectiva. Obviamente la fuerza de color  $K/S$  de los tejidos se ha visto reducido después de cada tintura ya que la concentración de colorante que queda en la arcilla es cada vez menor.

Los sustratos tintados se sometieron a pruebas de solidez del color para comprobar la correcta unión del colorante a la fibra, ofreciendo unos resultados excelentes acorde a las características y los valores que pueden ofrecer una tintura común de tejidos de poliéster con colorantes

dispersos. Se sigue confirmando en este estudio la capacidad adsorbente de la hidrotalcita, destacando que en esta ocasión el colorante adsorbido es no iónico, por lo que es capaz de adsorber colorante por otros procesos que no son el intercambio iónico.

## REFERENCIAS

- [1] Malinauskiene, Laura; Magnus Bruze; Kristina Ryberg; Erik Zimerson; and Marlène Isaksson; (2013). "Contact allergy from disperse dyes in textiles—a review." *Contact Dermatitis*. vol. 68, no. 2. pp. 65–75.
- [2] Platzek, T.; C. Lang; G. Grohmann; U. S. Gi; and W. Baltes; (1999). "Formation of a carcinogenic aromatic amine from an azo dye by human skin bacteria in vitro." *Hum. Exp. Toxicol.* vol. 18, no. 9. pp. 552–559.
- [3] Gasser, Mona. S.; H. S. Mekhamer; and R. O. Abdel Rahman; (2016). "Optimization of the utilization of Mg/Fe hydrotalcite like compounds in the removal of Sr(II) from aqueous solution." *J. Environ. Chem. Eng.* vol. 4, no. 4. pp. 4619–4630, doi: 10.1016/j.jece.2016.10.027.
- [4] Xi, Huan, Qingqing Li, Yan Yang, Jianfeng Zhang, Feng Guo, Xiaogang Wang, Shikai Xu, Shiping Ruan, (2021). "Highly effective removal of phosphate from complex water environment with porous Zr-bentonite alginate hydrogel beads: Facile synthesis and adsorption behavior study." *Appl. Clay Sci.* vol. 201. p. 105919.
- [5] López-Rodríguez, Daniel; Bàrbara Micó-Vicent; Jorge Jordán-Núñez; Marilés Bonet-Aracil; and Eva Bou-Belda; (2021). "Uses of nanoclays and adsorbents for dye recovery: a textile industry review." *Appl. Sci.* vol. 11, no. 23. p. 11422.

## Optimización de ficocianina en nanoarcillas de estructura tubular y laminar

Micó-Vicent, Bàrbara<sup>(2)</sup>, López-Rodríguez, Daniel <sup>(1)</sup>, Jordán-Núñez · Jorge <sup>(2)</sup>, Peris-Fajarnes, Guillermo <sup>(3)</sup>

(1) Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante), [dalorod@upv.es](mailto:dalorod@upv.es), [evbobel@upvnet.upv.es](mailto:evbobel@upvnet.upv.es)

(2) Departamento de Ingeniería Gráfica, Universitat Politècnica de València Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante), [barmivi@upv.es](mailto:barmivi@upv.es), [jorjornu@upv.es](mailto:jorjornu@upv.es)

(3) Departamento de Cartográfica y Topográfica, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n Valencia, [gperis@diq.upv.es](mailto:gperis@diq.upv.es)

### RESUMEN

La Laponita, con su estructura de discos nanométricos y carga negativa, es eficaz para atraer iones y moléculas cargadas positivamente, siendo ideal para la eliminación de contaminantes en aguas residuales y la captura de metales pesados. Por otro lado, la Haloisita, con su estructura tubular, también muestra una destacada capacidad de adsorción de gases y moléculas orgánicas e inorgánicas, siendo útil en sistemas acuosos y aplicaciones de liberación controlada de fármacos. El estudio se enfoca en investigar las condiciones óptimas de adsorción de un colorante llamado ficocianina en nanoarcillas de Laponita y Haloisita. Se realizaron experimentos variando la concentración de arcilla, el pH y la adición de surfactantes. Los resultados indican que la adsorción de ficocianina en Haloisita destruye la proteína, mientras que en Laponita se logra una adsorción exitosa con tonos intensos de azul. Se llevaron a cabo análisis espectrofotométricos y estudios FTIR en una muestra específica, los cuales respaldan la capacidad de adsorción de la Laponita y su potencial aplicación en áreas como la química ambiental, medicina y tecnología. En resumen, se destaca la capacidad de adsorción de la Laponita y la Haloisita, resaltando su potencial en la retención de sustancias, purificación, remoción de contaminantes y liberación controlada.

**Palabras clave:** Haloisita; Laponita; Nanoarcilla; Textil; Colorante natural; Ficocianina

### INTRODUCCIÓN

La capacidad de adsorción es una propiedad destacada de la Laponita y la Haloisita, dos minerales que han demostrado su eficacia en la retención de diversas sustancias en diferentes aplicaciones. La Laponita, con su estructura nanométrica en forma de discos, posee una sorprendente capacidad de adsorción. Su superficie cargada negativamente atrae iones y moléculas cargadas positivamente, lo que le permite retener sustancias en su matriz. Esta capacidad ha llevado a la utilización de la Laponita en aplicaciones como la remoción de contaminantes en aguas residuales y la captura de metales pesados en procesos de purificación [1], [2]. Además, su alta área superficial y su capacidad de hincharse en presencia de líquidos la convierten en un material ideal para la adsorción de compuestos orgánicos, como colorantes y toxinas, en diversos sistemas ambientales [3].

Por su parte, la Haloisita también muestra una notable capacidad de adsorción. Su estructura en capas y su composición química permiten la interacción con diferentes sustancias. La superficie de la Haloisita proporciona sitios de adsorción que pueden retener gases, iones y moléculas orgánicas e inorgánicas [4], [5]. Esta propiedad ha llevado a su utilización en la adsorción de contaminantes en sistemas acuosos, como la remoción de sustancias orgánicas tóxicas y la purificación de aguas contaminadas. Además, su capacidad para adsorber y retener moléculas en su matriz la convierte en un candidato prometedor en aplicaciones de liberación controlada de fármacos y otros compuestos bioactivos. La capacidad de adsorción de la Laponita y la Haloisita no solo se basa en sus estructuras y propiedades químicas, sino también en su

capacidad para intercambiar iones con el medio circundante. Esta propiedad les permite adaptarse y adsorber sustancias específicas según las condiciones ambientales.

En resumen, tanto la Laponita como la Haloisita son minerales con destacadas capacidades de adsorción, lo que las convierte en materiales de interés en aplicaciones de purificación, remoción de contaminantes y liberación controlada. Su capacidad para retener sustancias en su matriz abre nuevas posibilidades en campos como la química ambiental, la medicina y la tecnología. A medida que se investiga y se profundiza en su capacidad de adsorción, es posible que se descubran aún más aplicaciones y se optimicen sus propiedades para abordar los desafíos actuales en diversos ámbitos.

## OBJETIVOS

Establecer las condiciones y cantidades experimentales óptimas que deben utilizarse para la correcta adsorción de colorante ficocianina tanto en estructuras laminares con forma de disco (laponita) como en nanoarcillas tubulares de doble carga (Haloisita). Factores como el pH y la incorporación de elementos surfactantes va a alterar estos niveles y parámetros, por lo que también serán estudiados en este trabajo.

## MATERIALES Y PROCESO EXPERIMENTAL

La ficocianina es una proteína que se extrae de las algas con un color azul intenso muy interesante de cara a la búsqueda de una gama de colores potentes en el sector textil. La Tabla 1 y la se muestran las condiciones experimentales que se plantean para dos estructuras de nanoarcilla, la Haloisita (Tubular) y la Laponita® laminar.

Para el proceso experimental se preparan 400 mL de baño de tinte únicamente con el colorante, sin añadir ningún tipo de sal, dispersante o cualquier otro producto, ya que el objetivo inicial es cargar la arcilla solo con colorante. Estos 400 mL se les 7.5 ml de ficocianina para cada ensayo, para después añadir 6 y 10 g. de Laponita o Haloisita respectivamente dependiendo del experimental. A continuación, se requiere agitar la dispersión para maximizar la adsorción del colorante. Para ello, se utiliza un agitador magnético en dos fases. En la primera fase, se aplica una velocidad de agitación de 1600 r.p.m. durante un período de 2 horas. En la segunda fase, la velocidad se reduce a 500 r.p.m. durante 22 horas adicionales para evitar la liberación del colorante previamente adsorbido debido a una agitación demasiado energética [6].

Una vez lograda la adsorción del colorante, se procede a separar el híbrido obtenido del agua mediante un proceso de filtración. Durante este proceso, el agua pasa a través de un filtro por gravedad, mientras que el híbrido arcilla-colorante queda retenido por el filtro, evitando el paso del agua. La fase sólida se encuentra en la parte superior, mientras que la fase líquida cae. Este proceso de filtración se lleva a cabo durante 48 horas para garantizar que toda el agua atraviese un papel de filtro de 130 g·m<sup>-2</sup> con poros de 25-30 μm y un espesor de 430 μm. El agua recolectada se analiza utilizando un espectrofotómetro de absorción. Con la información obtenida y utilizando la ecuación 1, es posible calcular la cantidad de colorante presente en el agua residual simulada. De forma paralela, el híbrido sólido se seca a 70°C en una estufa de aire para eliminar cualquier residuo que pueda quedar, obteniendo así los híbridos correspondientes.

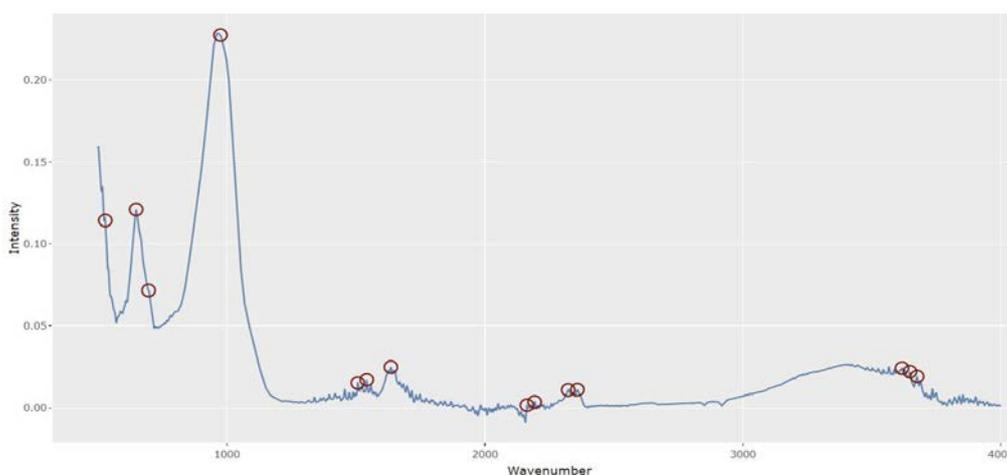
**Tabla 11.** Condiciones experimentales para la ficocianina con la Laponita® en función del pH, el surfactante (CPB) y el silano (SIL) con un diseño factorial completo 2<sup>3</sup>.

exp 2 <sup>3</sup>		FICO+LAP		
Nº	pH <sup>a</sup>	CPB	SIL	REF
1	N	0	0	FLAP.1
2	N	0	1	FLAP.2
3	N	1	0	FLAP.3
4	N	1	1	FLAP.4
5	A	0	0	FLAP.5
6	A	0	1	FLAP.6
7	A	1	0	FLAP.7
8	A	1	1	FLAP.8

<sup>a</sup>El pH varía entre natural (N) y el pH ácido.

## RESULTADOS

Los primeros experimentos con la Haloisita muestran que se destruye la proteína de la ficocianina con la adsorción en la Haloisita independientemente de las condiciones de síntesis. De hecho, no se prueban todas en vista de los primeros resultados. Aunque el pH inicial queda alrededor de 7 no funciona, aunque este se intenta bajar. En todos los casos el color resultante no es homogéneo y se pierde el azul. Por otro lado, los resultados con la Laponita® son todos muy prometedores, se consigue adsorber todo el colorante en dispersión inicial, ya que el sobrenadante recogido queda limpio en los 8 casos, y los tonos obtenidos a priori son intensos y varían entre el turquesa y el azul más puro. Analizando los resultados obtenidos del estudio FTIR de la muestra FLAP.1 (figura 1) se ven picos destacados a 647.96, 974.84, 1635.34 cm<sup>-1</sup>.



**Figura 1.** FTIR para muestra FLAP.1

## CONCLUSIONES

La adsorción de la ficocianina en estructuras laminares de Laponita® ha demostrado ser altamente efectiva, logrando adsorber todo el colorante en la dispersión inicial. Los resultados obtenidos fueron prometedores, con tonos intensos que variaron entre el turquesa y el azul más puro. En contraste, los experimentos con nanoarcillas tubulares de doble carga, como la Haloisita, mostraron la destrucción de la proteína de la ficocianina durante el proceso de adsorción, independientemente de las condiciones de síntesis utilizadas. No se obtuvo un color homogéneo y se perdió la intensidad del color azul. Se observaron picos destacados en el análisis FTIR de la muestra FLAP.1, a 647.96, 974.84 y 1635.34  $\text{cm}^{-1}$ , lo que indica la presencia de la ficocianina en el híbrido sólido de Laponita® y el colorante adsorbido. Estos resultados sugieren que la Laponita® laminar es un material más adecuado para la adsorción eficiente de la ficocianina en comparación con la Haloisita tubular de doble carga.

En resumen, este estudio experimental ha proporcionado condiciones óptimas para la adsorción de la ficocianina en nanoarcillas, destacando la eficacia de la Laponita® como material de elección para obtener tonos intensos y homogéneos en la gama de colores. Sin embargo, se requiere una investigación adicional para comprender las causas de la destrucción de la ficocianina durante la adsorción en la Haloisita y explorar posibles mejoras en las condiciones de síntesis.

## REFERENCIAS

- [1] Jatav, Shweta; and Yogesh M. Joshi; (2014). "Chemical stability of Laponite in aqueous media." *Appl. Clay Sci.* vol. 97. pp. 72–77.
- [2] Silva, Jhonatan M.; Hernane S. Barud; Andréa B. Meneguín; Vera R. L. Constantino; and Sidney J. L. Ribeiro; (2019). "Inorganic-organic bio-nanocomposite films based on Laponite and Cellulose Nanofibers (CNF)." *Appl. Clay Sci.* vol. 168. pp. 428–435.
- [3] López-Rodríguez, Daniel; Bàrbara Micó-Vicent; Jorge Jordán-Núñez; Marilés Bonet-Aracil; and Eva Bou-Belda; (2021). "Uses of nanoclays and adsorbents for dye recovery: a textile industry review." *Appl. Sci.* vol. 11, no. 23. p. 11422.
- [4] Wang, Xiaowen; Bin Mu; W. Wang; Qin Wang; and A. Wang; (2019). "A comparative study on color properties of different clay minerals/BiVO<sub>4</sub> hybrid pigments with excellent thermal stability." *Appl. Clay Sci.* vol. 181. p. 105221, doi: 10.1016/j.clay.2019.105221.
- [5] Desai, Sanjay; Astha Pandey; and M. S. Dahiya; (2017). "Application of hallosysite nanotubes in removal of auramine Y and auramine O dyes." *Int. J. PharmTech. Res.* vol. 10. pp. 62–76.
- [6] López-Rodríguez, Daniel; Bàrbara Micó-Vicent; Marilés Bonet-Aracil; Francisco Cases; and Eva Bou-Belda; (2022). "The Optimal Concentration of Nanoclay Hydrotalcite for Recovery of Reactive and Direct Textile Colorants." *Int. J. Mol. Sci.* vol. 23, no. 17. p. 9671.

## Estudio preliminar de la adsorción de antocianina en nanoarcillas de estructura tubular y laminar

Micó-Vicent, Bàrbara<sup>(1)</sup>; Daniel López-Rodríguez<sup>(2)</sup>; Jordán-Núñez, Jorge<sup>(1)</sup>; Amparo Jordá Vilaplana<sup>(1)</sup>

(1) *Departamento de Ingeniería Gráfica, Universitat Politècnica de València Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante), barmivi@upv.es, jorjornu@upv.es, amjorvi@upvnet.upv.es*

(2) *Departamento de Ingeniería Textil y Papelera, Universitat Politècnica de València Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n, Alcoi, (Alicante), dalorod@upv.es*

### RESUMEN

Este trabajo busca comparar el comportamiento de dos tipos de nanoarcillas, la Laponita® sintética y de estructura laminar y la Haloisita natural y tubular con posibilidad de adsorber iones de diferente carga en función de la zona de adsorción. El colorante seleccionado ha sido la Antocianina por su versatilidad de cambio de tono en función de las condiciones de pH a las que es sometida la molécula. Para combinar el factor del pH y de diversos modificadores estructurales se emplea el diseño estadístico de experimentos con un 32 replicado, uno por nanoarcilla. Con la adsorción en las nanoarcillas se observa que la gama de color se ve disminuida por la propia interacción con ambas nanoarcillas, y en este caso más en la interacción de la Laponita® quedando limitada la gama a tonos cercanos al marrón algo rojizos en condiciones ácidas. En cuanto a la Haloisita la gama cromática observada es más amplia, pasando en algunos casos de tonalidades menos saturadas, con tonos entres gris y beige, a tonos interesantes, saturados y morados, con más posibilidades de cara a futuras aplicaciones en el sector textil, en el que se enfocan las futuras líneas que dan continuidad al proyecto.

**Palabras clave:** Haloisita; Laponita®; Nanoarcilla; Textil; Colorante natural; Antocianina.

### INTRODUCCIÓN

El uso de colorantes naturales es una estrategia para conferir propiedades antimicrobianas a una matriz polimérica. Además, a diferencia de los colorantes sintéticos, los colorantes derivados de la naturaleza se consideran seguros por su baja toxicidad y su naturaleza biodegradable. Históricamente, se sabe que las materias colorantes naturales tienen algunos efectos antibacterianos, por lo que pueden considerarse como un sustituto ecológico a los productos sintéticos destinados a tal protección. Los colorantes naturales son populares debido a sus tonos de color más suaves, su naturalidad, sus propiedades desodorizantes/anticancerígenas. Los colorantes naturales más utilizados por sus propiedades y beneficios son los carotenoides, las antocianinas, la betanina y las clorofilas. Todos estos tintes se utilizan también como colorantes seguros para los cosméticos y los alimentos, debido a su carácter no tóxico.

Los intentos del empleo de colorantes naturales en industrias de recubrimientos, o textiles se encuentran con barreras importantes y limitaciones por sus bajas solideces y sus limitadas gamas de colores. Por lo general, la antocianina pierde fácilmente su color

a temperaturas elevadas en condiciones de pH neutro a básico. Los  $\beta$ -carotenos y los extractos de achiote muestran una gran inestabilidad frente a la irradiación, lo que limita su amplio uso. En la industria textil la aplicación de esta clase de colorantes requiere el empleo de grandes concentraciones de sales como mordientes que mejoren la estabilidad de los colorantes naturales en su aplicación.

La búsqueda de métodos para la mejora de las propiedades de colorantes naturales y la apertura a su uso en industrias con elevados requerimientos de calidad ha potenciado las líneas de investigación referentes a la microencapsulación y la generación de pigmentos híbridos nanoestructurados. En esta última los avances de la última década han demostrado que es posible adsorber y mejorar las propiedades de diferentes colorantes naturales con el uso de nanoarcillas con diferentes propiedades estructurales. Las nanoarcillas laminares como la montmorillonita no adsorben de forma preferente por lo general los colorantes naturales por su naturaleza aniónica, pero al modificarlas con agentes como surfactantes o compuestos con base de silano es posible la apertura de la estructura para la adsorción y protección de moléculas de colorantes naturales con gran tamaño como la clorofila. La Haloisita es tubular y también se ha logrado que adsorba clorofila tras un tratamiento térmico previo. Otras nanoarcillas que mediante tratamiento térmico previo son capaces de adsorber moléculas grandes como la clorofila o proteínas procedentes de microalgas con colores azules y rosáceos también muy interesantes, son las aniónicas laminares como la Hidrotacilita. En todos estos casos las nanoarcillas actuaron como agentes de protección capaces de conferir propiedades mejoradas a los materiales en los que fueron aplicados, como son polímeros termoplásticos y termoestables, abriendo la puerta al empleo de esta clase de colorantes naturales en infinidad de industrias si son capaces de cumplir con las especificaciones de calidad de cada producto en el que se apliquen [1].

Sabiendo que la Laponita® y la Haloisita son minerales con capacidades destacadas de adsorción con estructuras y cargas estructurales diferentes, se planteó el estudio de la viabilidad de incorporar antocianina extraída de residuos de granada para verificar el efecto de la interacción entre el mineral y la molécula orgánica y determinar la gama de colores que se obtiene en ambos casos, combinando el efecto del pH durante la adsorción y la incorporación de modificadores estructurales que mejoren la adsorción y las futuras aplicaciones de los híbridos obtenidos.

Como objetivos se plantean, comprobar la viabilidad de adsorber el colorante natural extraído a partir de residuos de granada en dos clases de nanoarcillas una laminar y una tubular, observando los cambios de tonalidad y formato del polvo final obtenido en función de las condiciones de síntesis establecidas empleando diseño estadístico de experimentos.

## **MATERIALES Y PROCESO EXPERIMENTAL**

En este trabajo se ha empleado Antocianina extraída a partir de residuos agrícolas, en concreto de la granada, cedido por la Federación de cooperativas agrarias de Murcia FECOAM. Los restos de granada se limpiaron y, a continuación, se retiró manualmente la cáscara para obtener las cortezas de granada. A partir del zumo de granada se obtuvo un pigmento natural de granada rico en antocianina suministrado por Celabor scrl. (Herve, Bélgica). Las nanoarcillas Haloisita (HA) y la Laponita® (LA), fueron suministrados por Southern Clay Products (Gonzales, TX, EE.UU.) y Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EE.UU.), respectivamente. Para modificar las superficies de las nanoarcillas, se utilizaron dos tensioactivos el bromuro de cetilpiridinio  $C_{21}H_{38}BrN-6H_2O$ , 384,44 g/mol

(CPB), el dodecilsulfato sódico (SDS),  $\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$ , 288,38 g/mol y un agente de acoplamiento tipo silano (SIL) (3-Aminopropil) trietoxisilano  $\text{H}_2\text{N}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ , 179,29 g/mol. Para registrar cualquier cambio en el pH durante el proceso de síntesis, se empleó ácido acético glacial (96%)  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , 60,052 g/mol. Todos estos agentes fueron suministrados por Sigma-Aldrich.

En La Tabla 1 y la se muestran las condiciones experimentales que se plantean empleando un diseño estadístico de experimentos factorial completo  $3^2$  replicado.

Para el proceso experimental se preparan 400 mL de baño sin el colorante y con la Laponita® o con el colorante y el surfactante previo adición de la Haloisita. En la Laponita® se emplea el surfactante previo al colorante y el silano post adición del colorante, como en la Haloisita. Los porcentajes de carga del surfactante fueron del 2% sobre peso de arcilla y 200 $\mu\text{l}$  de Silano en todos los casos. La concentración de Antocianina ha sido del 5% sobre peso de nanoarcilla. En los 400ml de baño se prepararon 6 y 10 g de Laponita® o Haloisita respectivamente para evitar la formación de gel en la primera. Las condiciones de agitación variaron en función del momento de incorporación de aditivos en las arcillas, dejando al máximo las dispersiones con todos los aditivos una hora, y bajando a 500 r.p.m. durante 23 horas adicionales para evitar la liberación del colorante previamente adsorbido debido a una agitación demasiado enérgica.

**Tabla 12.** Condiciones experimentales para la antocianina con la Haloisita y la Laponita® en función del pH, el surfactante (CPB o SDS) y el silano (SIL) con diseños factoriales completos  $3^2$  replicados.

Antocianina + Laponita®				Antocianina + Haloisita			
Nº	pH	mod	REF	Nº	pH	Surf.	REF
1	8,5	SIL	AHA.1	1	4	SDS	AHA.1
2	8,5	0	AHA.2	2	4	0	AHA.2
3	3,5	SIL	AHA.3	3	2	SDS	AHA.3
4	3,5	CPB	AHA.4	4	2	CPB	AHA.4
5	8,5	CPB	AHA.5	5	4	CPB	AHA.5
6	9	0	AHA.6	6	9	0	AHA.6
7	3,5	0	AHA.7	7	2	0	AHA.7
8	9	SIL	AHA.8	8	9	SDS	AHA.8
9	9	CPB	AHA.9	9	9	CPB	AHA.9

Una vez lograda la adsorción del colorante, se procede a separar el híbrido obtenido del agua mediante un proceso de filtración. Durante este proceso, el agua pasa a través de un filtro por gravedad, mientras que el híbrido arcilla-colorante queda retenido por el filtro, evitando el paso del agua. La fase sólida se encuentra en la parte superior, mientras que la fase líquida cae. Este proceso de filtración se lleva a cabo durante 48 horas para garantizar que toda el agua atravesase un papel de filtro de 130 g·m<sup>-2</sup> con poros de 25-30  $\mu\text{m}$  y un espesor de 430  $\mu\text{m}$ . El agua recolectada se analizará en futuros trabajos utilizando un espectrofotómetro de absorción. De forma paralela, el híbrido sólido se seca a 70°C en una estufa de aire para eliminar cualquier residuo que pueda quedar, obteniendo así los híbridos correspondientes que se valoran de forma visual tanto en cuanto a la coloración obtenida como en cuanto a las aglomeraciones generadas tras el proceso de secado.

## RESULTADOS

A nivel de coloración se observa que la gama cromática disminuye de forma considerable con respecto a la del colorante natural sin adsorber debido a la interacción con ambas estructuras. En concreto con la Laponita® se obtienen tonos oscuros y cromáticos pero con tonalidades que no varían con el pH quedando en todos los casos muy cercanos al marrón. Con la Haloisita la gama cromática es más amplia pero la saturación parece inferior. Aún así esto se debe a la formación de agregados, es decir, el formato de polvo que se consigue en la Haloisita hace que parezca que se obtienen tonos menos saturados y más claros, mientras que con los agregados de la Laponita®, que cristaliza en la mayoría de los casos y hace que parezcan tonos más oscuros y cromáticos pero tienen el inconveniente de tener que ser molidos antes de poderse aplicar.



**Figura 1.** Izquierda: Imágenes de los resultados con las pruebas de antocianina adsorbida en Laponita®. Derecha: resultado final con las condiciones experimentales de la antocianina adsorbida en Haloisita.

## CONCLUSIONES

Se ha demostrado la viabilidad de incorporar Antocianina tanto en una nanoarcilla laminar (Laponita®), como en la tubular (Haloisita), siendo más amplia la gama de color con esta última. Los factores seleccionados influyen en los resultados como la viscosidad de las dispersiones, la facilidad de filtrado o el color final obtenido.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer a la Agència Valenciana de la Innovació, por la concesión del proyecto “MICROBIOMAT: I+D de nuevos colorantes naturales de aplicación en textiles vegetales y biomateriales alternativos al cuero para la obtención de productos del sector Moda, Complementos y Calzado”.

## REFERENCIAS

- [1] Micó-Vicent, Bàrbara, Ramos, Marina, Viqueira, Valentín, Luzi, F Francesca, Dominici, Franco, Terenzi, Andrea; Maron, Etienne, Hamzaoui, Mahmoud; Kohnen, Stephane; Torre, Luigi; Jiménez, Alfonso; Puglia, Debora Garrigós, María Carmen. (2021). “Anthocyanin Hybrid Nanopigments from Pomegranate Waste: Colour, Thermomechanical Stability and Environmental Impact of Polyester-Based Bionanocomposites.” *Polymers*, 13(12), pp 1966. 10.3390/polym13121966

## Enfoques para la modificación de fibra de lana para refuerzo de ácido poliláctico (PLA) y la influencia en las propiedades del material.

**Pawlak, Franciszek<sup>(1)</sup>, Pavón, Cristina<sup>(1)</sup>, Aldas, Miguel<sup>(2)</sup>, López-Martínez, Juan<sup>(1)</sup>**

*(1) Instituto de Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València, Plaza Ferrandiz y Carbonelle, 03801 Alcoy-Alicante, España, [magwysz@gmail.com](mailto:magwysz@gmail.com) (P.F.), [cripava1@epsa.upv.es](mailto:cripava1@epsa.upv.es) (P.C.), [jlopezm@mcm.upv.es](mailto:jlopezm@mcm.upv.es) (L-M.J.)*

*(2) Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11-253, 170517 Quito, Ecuador. [miguel.aldas@epn.edu.ec](mailto:miguel.aldas@epn.edu.ec) (A.M.)*

### RESUMEN

En este trabajo la fibra de lana, como desecho de la industria láctea, se aplicó como refuerzo para el ácido poliláctico (PLA). Además, para mejorar la débil interacción entre la fibra de lana y el PLA se modificó el PLA con aceite de linaza maleinizado (MLO). Y se realizaron dos tratamientos sobre las fibras de lana uno con silano y otro con plasma, las fibras sin tratamiento se usaron como referencia. Los materiales obtenidos se caracterizaron en cuanto a propiedades térmicas y mecánicas. La modificación de PLA con MLO y fibra de lana provocó una disminución en la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea. Por el contrario, los tratamientos de la fibra con silano y plasma mostraron temperaturas de fusión más altas en referencia a los materiales basados en PLA modificados con fibras de lana sin tratar. Además, la resistencia a la tracción de los materiales basados en PLA disminuyó cuando se modificó con MLO y fibra de lana, pero los tratamientos, especialmente con plasma, compensaron el impacto negativo de la interacción débil entre PLA y lana.

**Palabras clave:** plásticos biodegradables, lana, propiedades termales, propiedades mecánicas

### INTRODUCCIÓN

El ácido poliláctico (PLA) es uno de los biopolímeros más prometedores debido a sus propiedades equilibradas y su carácter biodegradable. El procesamiento favorable y la buena disponibilidad de PLA en el mercado hacen que el material polimérico valga la pena investigar los efectos de sus diversas modificaciones. Una de las estrategias más prometedoras para modificar las propiedades de los materiales poliméricos es su refuerzo con fibras naturales, lo que, puede proporcionar propiedades nuevas y personalizadas para el material polimérico y crear una alternativa para la eliminación de fibras naturales.[1]

Los aceites naturales de origen biológico se consideran más a menudo como posibles aditivos de los materiales poliméricos para actuar como plastificantes o facilitar el procesamiento de materiales. Entre tales aceites naturales se pueden distinguir los aceites de linaza o de cáñamo; sin embargo, dichos aceites a menudo requieren modificaciones adicionales para aplicaciones a materiales poliméricos. Para la mezcla con PLA, una maleinización de aceite de linaza mostró resultados prometedores, lo que indica una buena compatibilidad. [2]

La fibra de lana es una fibra de proteína de alta calidad que generalmente se aplica en aplicaciones textiles. Sin embargo, como algunas especies de ovejas se crían para obtener productos lácteos, la calidad de su lana es insuficiente para los textiles y se considera un subproducto. Aunque dicha lana no se puede aplicar a textiles después de un tratamiento específico, se puede aplicar como aditivo para PLA. [3] Para modificar la superficie de la fibra de lana y lograr una mejor interacción con el PLA, se pueden aplicar diferentes enfoques de modificación, como el tratamiento con silano o el tratamiento con plasma. Se puede realizar una funcionalización de silano debido a una reacción química en condiciones acuosas que da como resultado la unión de grupos funcionales en una superficie de fibra de lana. [4] El tratamiento con plasma podría lograrse modificando la superficie de la fibra de lana con aire atmosférico ionizado, lo que da como resultado una rugosidad mejorada y un aumento de los grupos hidroxilo en la superficie de la fibra.

## OBJETIVOS

El objetivo del estudio es investigar el refuerzo de fibra de lana en ácido poliláctico con diferentes enfoques para la modificación de lana. Entre la lana, las modificaciones se investigan en fibras de lana no tratadas (WU), fibras tratadas con plasma de aire atmosférico (WPL) y fibras tratadas químicamente con tris(2-metoxietoxi)(vinilo) silano (WTVS).

## EXPERIMENTAL

El poli(ácido láctico)-PLA Ingeo Biopolimer 6201D fue suministrado por NatureWorks LLC (Minnetonka, Minnesota, E.U.). El plastificante utilizado en la preparación fue un aceite de linaza maleinizado (MLO) Veomer Lin y fue suministrado por Vendeputte (Mouscron, Bélgica). La lana se obtuvo en forma de materia prima del País Vasco (País Vasco, España), la cual fue previamente limpiada y preparada siguiendo el procedimiento de varios pasos. La modificación de la superficie se llevó a cabo con tris(2-metoxietoxi)(vinil)silano (TVS) proporcionado por Sigma-Aldrich (Schnelldorf, Alemania). En el estudio se investigaron varias formulaciones: PLA puro, PLA mezclado con 10 phr de MLO y las mezclas PLA-MLO reforzadas con lana no modificada (WU), lana tratada con plasma (WPL) y lana tratada con silano (WTVS) en concentraciones de 1 y 5phr. Cada formulación se extruyó en una extrusora de doble husillo co-rotante, con relación L/D de 25 de Dupra S.L (Castalla, España), en un perfil de temperatura de 150-170-180-185°C, y con una velocidad de rotación de 20 rpm. Luego las formulaciones obtenidas fueron procesadas por moldeo por inyección para obtener especímenes de prueba, en una máquina de moldeo por inyección (Sprinter-11, Erinca S,L., Barcelona, España) a un perfil de temperatura de 160-170-180-180°C.

## RESULTADOS

La mezcla pura de PLA y PLA-MLO mostró una temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) de 64 y 62 °C, respectivamente. En general, el refuerzo con fibra de lana sin tratar redujo la  $T_g$  sin embargo, el tratamiento de la fibra con silano y plasma compensó la disminución, especialmente para las fibras de lana tratadas con plasma. Se pudo observar un comportamiento similar para la temperatura de fusión ( $T_m$ ), con la diferencia de que el tratamiento con plasma incluso aumentó la  $T_m$  hasta 173,7 °C para la formulación reforzada con 1phr de fibras de lana tratadas con plasma. La temperatura

de cristalización en frío ( $T_{cc}$ ) del PLA se observa como un pico pronunciado en la curva DSC a 106 °C. Una modificación con PLA y lana sin tratar provocó un cambio de la  $T_{cc}$  a temperaturas más bajas, sin embargo, una modificación de la superficie provocó un aumento de la  $T_{cc}$  en referencia a la lana sin tratar, así como a la mezcla de PLA-MLO. Sin embargo, se pudo observar una diferencia para las formulaciones con lana tratada con plasma, donde el pico es más amplio y aparece en temperaturas más altas hasta 122°C.

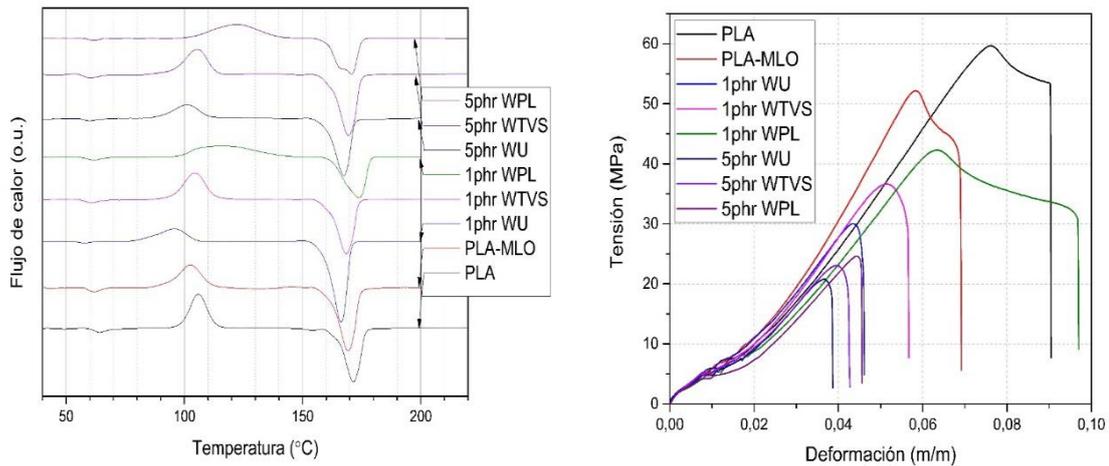


Figura 1. DSC y Tensión

En cuanto a las propiedades de tracción, el PLA puro mostró la mayor resistencia a la tracción. Cuando el PLA se modificó con MLO y lana sin tratar se observó una disminución significativa en la resistencia del material. En concentraciones de lana superiores a 5 phr la modificación de la superficie de la fibra de lana no produjo un cambio en la resistencia. A 1 phr se observa una mejora de la resistencia, especialmente para formulaciones con fibras tratadas con plasma. Con respecto al alargamiento a la rotura, solo la formulación 1phr WPL mostró resultados comparables con el PLA puro, en las formulaciones restantes, las muestras presentaron rotura con un alargamiento más bajo. Finalmente, El PLA puro con el refuerzo de 1phr de lana tratada con plasma presentó la mayor la tenacidad. Aunque la lana tratada con silano también mejoró la tenacidad en referencia a las formulaciones de lana sin tratar, el aumento no es tan visible como para el tratamiento con plasma en baja concentración.

Tabla 1. Resultados de DSC y tracción

	PLA	PLA-MLO	PLA-MLO-1WU	PLA-MLO-1WTVS	PLA-MLO-1WPL	PLA-MLO-5WU	PLA-MLO-5WTVS	PLA-MLO-5WPL
<b>Transición vítrea</b>	64.0	62.0	57.7	60.6	62.0	59.7	60.3	61.7
<b>Temperatura de cristalización en frío</b>	106.0	102.7	96.0	104.3	116.3	101.3	105.3	122.3

<b>Temperatura de fusión</b>	171.3	169.3	166.3	168.3	173.7	167.7	169.3	171.0
<b>Resistencia a la tracción (MPa)</b>	58.44± 0.62	51.69± 0.42	28.96± 1.06	35.21± 0.43	41.32± 0.51	23.51± 1.08	22.60± 0.63	23.55± 2.03
<b>Alargamiento (%)</b>	7.87± 0.32	6.56± 0.29	4.44± 0.13	5.48± 0.13	7.94± 0.44	4.00± 0.09	4.15± 0.13	4.53± 0.36
<b>Tenacidad (MPa)</b>	2272± 146	1654± 139	619± 40	944± 38	1770± 167	457± 29	466± 24	537± 92

## CONCLUSIONES

La investigación mostró que ambos tipos de tratamiento de fibra de lana con silano y plasma son razonables y permiten compensar el impacto negativo de la débil interacción entre el PLA y la fibra de lana sin tratar. El tratamiento con silano permitió lograr propiedades térmicas comparables a las formulaciones sin refuerzo. El tratamiento con plasma mostró un amplio pico de cristalización en frío a temperaturas más altas, lo que no se observó para las demás formulaciones. En cuanto a las propiedades mecánicas, el tratamiento con plasma en baja concentración permitió compensar el impacto negativo con cambios relativamente bajos en la tenacidad o elongación a la rotura en referencia a las formulaciones sin refuerzo. Aunque el tratamiento con silano en menor concentración muestra una mejora en la resistencia a la tracción, el alargamiento a la rotura y la tenacidad en referencia a la formulación con lana sin tratar, la mejora en las propiedades mecánicas es mayor para las formulaciones con formulación tratada con plasma.

## REFERENCIAS

- [1] Sormunen, Petri; and Timo Kärki; (2019). "Compression molded thermoplastic composites entirely made of recycled materials." *Sustain*. vol. 11, no. 3, doi: 10.3390/su11030631.
- [2] Ferri, J. M.; D. Garcia-Garcia; L. Sánchez-Nacher; O. Fenollar; and R. Balart; (2016). "The effect of maleinized linseed oil (MLO) on mechanical performance of poly(lactic acid)-thermoplastic starch (PLA-TPS) blends." *Carbohydr. Polym.* vol. 147. pp. 60–68, doi: 10.1016/j.carbpol.2016.03.082.
- [3] Xu, Weilin; Guizhen Ke; Jihong Wu; and Xungai Wang; (2006). "Modification of wool fiber using steam explosion." *Eur. Polym. J.* vol. 42, no. 9. pp. 2168–2173, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2006.03.026.
- [4] Pawlak, Franciszek; Miguel Aldas; Francisco Parres; Juan López-Martínez; and Marina Patricia Arrieta; (2020). "Silane-functionalized sheep wool fibers from dairy industry waste for the development of plasticized PLA composites with maleinized linseed oil for injection-molded parts." *Polymers (Basel)*. vol. 12, no. 11. pp. 1–22, doi: 10.3390/polym12112523.

## Estudio preliminar del aprovechamiento de fibras vegetales para materiales absorbentes acústicos

Llidó-Barragán, Alexandra <sup>\*(1)</sup>, Crespo-Amorós, José Enrique <sup>(2)</sup>, Martínez-Iborra, Juan Enrique <sup>(3)</sup>, De la Calle-Salas, Alejandro <sup>(4)</sup>, García-Carrasco, Sergio <sup>(5)</sup>

(1,2,3,4,5) *Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales, Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell s/n 03801, Alcoy, Alicante,*

*[allibar@epsa.upv.es](mailto:allibar@epsa.upv.es) <sup>\*(1)</sup>; [jocream@dimm.upv.es](mailto:jocream@dimm.upv.es) <sup>(2)</sup>; [juamari3@epsa.upv.es](mailto:juamari3@epsa.upv.es) <sup>(3)</sup>; [aldel14a@epsa.upv.es](mailto:aldel14a@epsa.upv.es) <sup>(4)</sup>; [sergarc9@epsa.upv.es](mailto:sergarc9@epsa.upv.es) <sup>(5)</sup>*

### RESUMEN

En los últimos años, ha tomado relevancia el término de “economía circular” referente al desarrollo sostenible y el medio ambiente. Se pretende conseguir un material sostenible, liviano y que tenga buena sonoridad investigando sobre materiales absorbentes acústicos fabricados de un subproducto natural, concretamente los residuos de la alcachofa, conocida como “Cynara cardunculus”. Estas fibras vegetales se caracterizan por tener un porcentaje alto de celulosa y por ser un desecho de origen natural. Los residuos de alcachofa, en este caso las hojas externas, tanto en verde como en hervida se han sometido a un proceso previo de secado, uno en horno a 60°C y otro secado a temperatura ambiente. Después del secado, un proceso de picado y otro de prensado en frío. De esta forma, tras obtener las distintas fibras de estos dos tipos de procesos, se obtiene mediante prensado en frío la obtención de las muestras para realizar la caracterización acústica posteriormente.

**Palabras clave:** fibras vegetales, absorción acústica, alcachofa, economía circular.

### INTRODUCCIÓN

Para el control del ruido ambiental, se hace uso de fibras de vidrio y minerales que son los materiales principales utilizados en estos últimos años. Éstos se han convertido en una problemática medioambiental con su deposición en los vertederos. Tienen un difícil reciclaje y su producción necesita una cantidad inmensa de energía lo que aumenta el dióxido de carbono, óxido nitroso y metano a la atmósfera. Con el fin de reducir este impacto medioambiental se pretende investigar materiales absorbentes acústicos haciendo uso de fibras naturales. [1]

Las fibras naturales son biodegradables, no contienen plásticos ni ningún componente derivado del petróleo y no son perjudiciales para la salud. También, están constituidas por celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina y su contenido afecta en sus propiedades. El contenido de celulosa influye en las propiedades macroscópicas de las fibras vegetales. La resistencia a la tracción y el módulo de Young aumentan con el contenido de celulosa (1). La lignina le proporciona mayor resistencia al ataque de los microorganismos (3) y la pectina flexibilidad a las fibras (4). Así mismo, un mayor contenido de hemicelulosa aumenta la absorción de humedad y acelera el proceso de biodegradación (5). [2]

Por contraste, estas fibras presentan como inconveniente en sus propiedades una menor resistencia mecánica y una alta absorción de humedad. En relación con esta consciencia social, surge interés por el uso de fibras de origen vegetal o celulósico,

como son las hojas externas de la alcachofa en su aprovechamiento de los desechos naturales, una alta eficiencia medioambiental y reducción de costes. Además, en varios países ya están apostando por el concepto verde en los materiales para la construcción en su legislación para favorecer el uso de productos reciclados y materiales considerados con el medioambiente con estos productos.

## MÉTODOS EXPERIMENTALES

### Materiales y preparación de muestras

La alcachofa, también conocida como “*Cynara cardunculus*” proviene del Noreste de África. Hoy en día, España es uno de los mayores productores y consumidores de alcachofas en Europa, especialmente en regiones como la Comunidad Valenciana y Murcia. Italia también es conocida por su producción de alcachofas, especialmente en la región de Sicilia. La alcachofa es una planta silvestre que crecía de forma natural en la región mediterránea y era considerada por sus propiedades culinarias y medicinales. El cultivo en la zona mediterránea es característica de las regiones que rodean el Mar Mediterráneo, presenta una serie de beneficios tanto para la agricultura como para el medio ambiente como la sostenibilidad, valor nutricional, paisaje cultural, economía regional, variedad de cultivos y adaptación de clima. Las fibras vegetales se obtuvieron de la alcachofa de dos configuraciones diferentes, una con un secado previo en horno a 60°C y otra secada a temperatura ambiente. En el primer caso, en ambos materiales, muestras (1) y (2) se dejó secar el material durante 5 días para eliminar la humedad. Después, con la picadora se picaron las hojas. En el segundo caso, muestras (3) y (4), utilizando la picadora sin pasar por el proceso de secado descrito anteriormente. En el tercer caso, muestras (5) y (6) se utilizó una prensa de aceite eléctrica con una potencia de 600W para realizar un prensado en frío para obtener, primeramente, la fibra y segundo el líquido como otro subproducto natural.



Figura 13. Prensa de aceite eléctrica.

Las muestras de ensayo para abordar el estudio preliminar extraídas fueron:

Tabla 13. Muestras para desarrollar.

Muestras	Tipo de hoja	Secado	Picado	Prensado en frío
1	En verde	Secado a 60°C	Sí	X
2	Hervida	Secado a 60°C	Sí	X
3	En verde	A temperatura ambiente	Sí	X
4	Hervida	A temperatura ambiente	Sí	X
5	En verde	A temperatura ambiente	X	Sí
6	Hervida	A temperatura ambiente	X	Sí

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante el estudio realizado en ambos tipos de hoja de alcachofa, se exponen los resultados obtenidos en cada caso que se han descrito anteriormente:

En el primer caso, en las hojas de alcachofa en verde secadas en horno a 60°C, se observaba claramente las fibras encogidas y presentaban una cierta rigidez, pero no se pudo llevar a cabo el proceso de picado ya que se rompían y se convertían en polvo o partículas muy pequeñas, Figura 2 (a). En las hojas hervidas, Figura 2 (b) este fenómeno no se daba de enrollamiento, pero se desmoronaban y también se convertían en un polvo fino.

En el segundo caso, sin realizar el secado previo que se ha mencionado anteriormente se observa que, en las hojas en verde, Figura 2 (c), se obtiene la fibra picada con facilidad. Por otro lado, en las hojas hervidas no se consigue este picado dado a que la hoja de la alcachofa está muy blanda debida a la alta cantidad de agua.

En el tercer caso, en los distintos tipos de hoja, se pretendía obtener el líquido, Figura 2 (d) de la alcachofa únicamente. No obstante, por la salida de husillo extrusor del equipo, se obtuvo una fibra residuo de dicho proceso. En la hoja en verde, Figura 2 (e) se extrajo un líquido limpio y una fibra desollada, mientras que, en la hoja hervida, Figura 2 (f) el líquido era más denso pareciéndose a una papilla, donde la fibra era más firme y esponjosa.



**Figura 14.** Resultados obtenidos. a) Hoja en verde secada a 60°C; b) Hoja hervida secada a 60°C; c) Hoja en verde picada secada a temperatura ambiente; d) Líquido izquierdo de la hoja en verde y el de la derecha de la hoja hervida; e) Fibra de la hoja en verde; f) Fibra de la hoja hervida.

Estos resultados evidencian las diferentes propiedades y comportamientos de las hojas de alcachofa en los distintos procesos de secado y tratamiento. Además, destacan la importancia de seleccionar adecuadamente el tipo de hoja y el proceso de elaboración para obtener fibras de calidad que puedan ser utilizadas en materiales absorbentes acústicos.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de este estudio revelan la posibilidad de crear materiales absorbentes acústicos con desechos naturales procedentes de la alcachofa dado el tipo de fibra obtenida en las dos configuraciones estudiadas, una secada en horno a 60°C y otra secada a temperatura ambiente. Cabe destacar que, en el tercer caso, se observó que la fibra de hoja hervida, secada a temperatura ambiente y sometida a un prensado en frío, presentaba un buen aspecto, siendo firme y esponjosa, lo que la hacía adecuada para la fabricación de las muestras de absorción acústica.

El uso de estos residuos de la alcachofa para la fabricación de materiales absorbentes acústicos también tiene ventajas significativas desde el punto de vista medioambiental y sostenible. Al emplear desechos naturales en lugar de materiales sintéticos o no renovables, se reduce el impacto ambiental y se promueve la economía circular al aprovechar recursos que de otro modo podrían desecharse. Además, dado que estos materiales son biodegradables, contribuyen a la reducción de la acumulación de residuos en vertederos y a la disminución de la contaminación.

El proceso de obtención de las fibras a partir de los residuos de alcachofa es relativamente sencillo y de bajo coste, lo que hace que estos materiales sean accesibles y viables para su aplicación en diferentes sectores que requieren soluciones de absorción acústica, como la construcción.

En resumen, los resultados obtenidos indican que los desechos naturales de la alcachofa representan una fuente prometedora de materiales absorbentes acústicos. Estos materiales ofrecen una alternativa sostenible y económica a los materiales existentes, contribuyendo a la reducción del impacto ambiental y proporcionando propiedades eficientes de absorción acústica.

## REFERENCIAS

- [1] Arenas;del Rey;Alba;Oltra. (2020). "Sound-Absorption Properties of Materials Made of Esparto Grass Fibers". *Sustainability*, v.12, n. 14, pp. 10. <http://dx.doi.org/10.3390/su12145533>
- [2] Navacerrada;de la Prida;Sesmero;Pedrero;Gomez;Fernandez-Morales. (2021). "Acoustic and thermal behavior of materials based on natural fibers for energy efficiency in buildings". *Informes De La Construccion*, v.73, n. 561, pp. 9. <http://dx.doi.org/10.3989/ic.74558>
- [3] Sgroi;Fodera;Di Trapani;Tudisca;Testa. (2015). "Profitability of Artichoke Growing in the Mediterranean Area". *Hortscience*, v.50, n. 9, pp. 1349-1352. <http://dx.doi.org/10.21273/hortsci.50.9.1349>

## Influencia del porcentaje de relleno en las propiedades físico-mecánicas del TPLA en impresión 3D

De La Calle Salas, Alejandro <sup>(1)</sup>, Parres García, Francisco José <sup>(2)</sup>, García Carrasco, Sergio <sup>(3)</sup>, Peydró Rasero, Miguel Ángel <sup>(4)</sup>, Llidó Barragán, Alexandra <sup>(5)</sup>

Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València (UPV), Plaza Ferrándiz y Carbonell 1, 03801 Alcoy, España.

(1) [aldel14a@epsa.upv.es](mailto:aldel14a@epsa.upv.es), (2) [fraparga@dimm.upv.es](mailto:fraparga@dimm.upv.es), (3) [sergarc9@epsa.upv.es](mailto:sergarc9@epsa.upv.es), (4) [mpeydro@upv.es](mailto:mpeydro@upv.es), (5) [allibar@epsa.upv.es](mailto:allibar@epsa.upv.es)

### RESUMEN

La impresión 3D cada vez está más presente en nuestras vidas, tanto a nivel industrial como doméstico; el material más empleado por su sencillez de trabajo es el ácido poliláctico (PLA). Sin embargo, se trata de un polímero frágil, por lo que se han realizado intentos de transformarlo en un compuesto dúctil. En el presente trabajo, se ha realizado el estudio de las propiedades del *Tough* PLA, una modificación del PLA que tiene un mejor comportamiento mecánico, comparando diversos porcentajes de relleno. Se ha realizado también una comparativa con otros materiales típicos en la impresión 3D, como son el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) o la poliamida 6 (PA6).

**Palabras clave:** impresión 3D, TPLA, FDM, resiliencia, ductilidad.

### INTRODUCCIÓN

La impresión 3D es una tecnología con años de desarrollo, y con muchas variantes; no obstante, la FDM (Fused Deposition Modeling), se ha democratizado mucho en los últimos tiempos, y tiene una perspectiva a futuro de continuar así. Desde piezas meramente visuales, a otras plenamente funcionales, ofrece una panoplia de aplicaciones muy alta. Además, puede emplearse con una gran cantidad de materiales con propiedades diferentes, según el uso que se le pretenda dar.

De entre todos estos materiales, hay uno que destaca por encima de todos: el PLA (ácido poliláctico). Se trata de un polímero termoplástico biodegradable y de origen natural, que se postula como una solución al problema de la contaminación por plásticos [1]. Tiene un precio contenido, pero la principal característica que le permite casi monopolizar el mercado de la impresión 3D FDM a nivel básico, es su facilidad de impresión. Otros polímeros, como el ABS, presentan en comparación una gran contracción una vez se enfrían. Esto implica que, si la contracción es demasiado alta, o la pieza es muy grande, el material puede despegarse de la placa, estropeando la pieza; a este fenómeno se le denomina *warping*. Como se puede inferir, el PLA permite impresiones más fáciles y fiables, evitando en gran medida este efecto.

Sin embargo, el PLA presenta un problema que limita sus aplicaciones: tiene un comportamiento frágil; es por ello que, desde el momento en que se comenzó a emplear, se ha estado buscando formas de mejorar sus propiedades mecánicas [2, 3].

En el campo de la impresión 3D, especialmente en el último par de años, ha aparecido el T-PLA (Tough PLA), el cual es típicamente un *blend* de PLA con otro polímero de naturaleza elástica, que mantiene la facilidad de impresión del PLA, pero con

propiedades mecánicas que pueden llegar a las del ABS [4, 5]. Por tanto, es claramente una opción que va a ir en aumento y, sin embargo, apenas existen datos sobre el T-PLA comercial, ya que cada compañía mantiene su formulación en secreto.

Un aspecto de la impresión 3D FDM muy llamativo es que permite la realización de piezas no macizas; para ello, la tecnología se basa en el uso de patrones de relleno en el interior de la pieza, que se rodea por una carcasa. La cantidad de patrones existentes es muy alta, y se pueden variar múltiples parámetros, entre los que están el propio patrón, la orientación del mismo, o la cantidad de relleno (típicamente del 20%), entre otros. Teniendo en cuenta que una pieza de este estilo está esencialmente hueca, la variación de estos parámetros es fundamental a la hora de determinar la resistencia de la pieza, así como el nivel de anisotropía que presenta.

Estas dos variables, tanto el uso de T-PLA como el patrón de relleno, no se ha estudiado en profundidad todavía. Por ello, este trabajo se presenta como una investigación inicial en la variación del comportamiento mecánico con estos parámetros, de forma que se pueda determinar hasta qué punto es útil dedicar más recursos al afinamiento del relleno.

## METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio, se analizarán cinco porcentajes de relleno (15%, 25%, 50%, 75%, y 100%), estudiando posteriormente sus características mecánicas tales como la resistencia a la tracción, su alargamiento, o la energía absorbida en impacto Charpy. De los diferentes patrones existentes, se ha escogido el cúbico, ya que presenta un buen comportamiento en las dos direcciones principales, y también en la perpendicular, ya que se trata de un patrón tridimensional: la estructura crea una serie de estrellas de David (patrón trihexagonal), que es una versión simplificada de la de un panal de abeja (hexagonal). Se ha ajustado la dirección de impresión para que la principal coincida con la dirección longitudinal de la probeta.

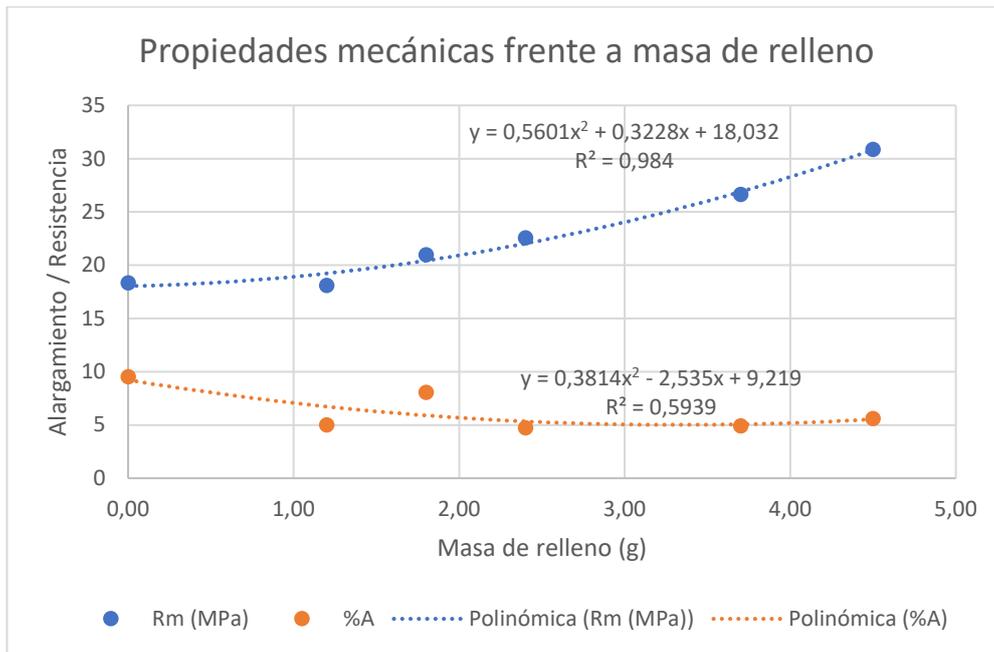
Para la realización de los ensayos, se ha seguido la normativa UNE-EN ISO 527 para tracción, y la UNE-EN ISO 179 para el impacto Charpy. Las máquinas de ensayo han sido las siguientes: Para tracción, se usó una Ibertest ELIB 30 (Madrid, España); para Charpy, una Metrotec (San Sebastián, España). La velocidad del ensayo de tracción fue de 5 mm/min, y para Charpy, se ha usado el péndulo de 6 J, sin entalla.

Para la fabricación de las probetas, se ha empleado el material Tough PLA de la marca BCN3D, aunque fabricado por Mitsubishi Chemical, y la impresora 3D empleada es una Ultimaker S5 Pro Bundle, cargado con un hotend AA de 0,4 mm. El perfil de impresión empleado ha sido el proporcionado por el programa de laminado Ultimaker Cura, con altura de capa de 0,2 mm. Se ha variado la temperatura de impresión, utilizando 195°C, siguiendo las recomendaciones del fabricante. Además, como se ha comentado, se ha variado la densidad del relleno, y el grosor de la cáscara, tanto del techo y del suelo, como de las paredes, ha sido de 0,8 mm.

El resto de materiales empleados en la comparativa han sido los siguientes: PET-G y ABS de Smart Materials, PC de Polymaker, y PLA de Sicnova y PA6 de BCN3D (estos dos últimos fabricados por BASF AM). Se emplearon las mismas condiciones que para el Tough PLA en su versión de relleno del 25%, variando únicamente las temperaturas de la cama y de extrusión, empleando en ambas el valor medio del rango recomendado por el fabricante. Específicamente, la extrusión fue de 235°C para el PETG, 240°C para el ABS, 260°C para el PC, 210°C para el PLA, y 250°C para la PA6.

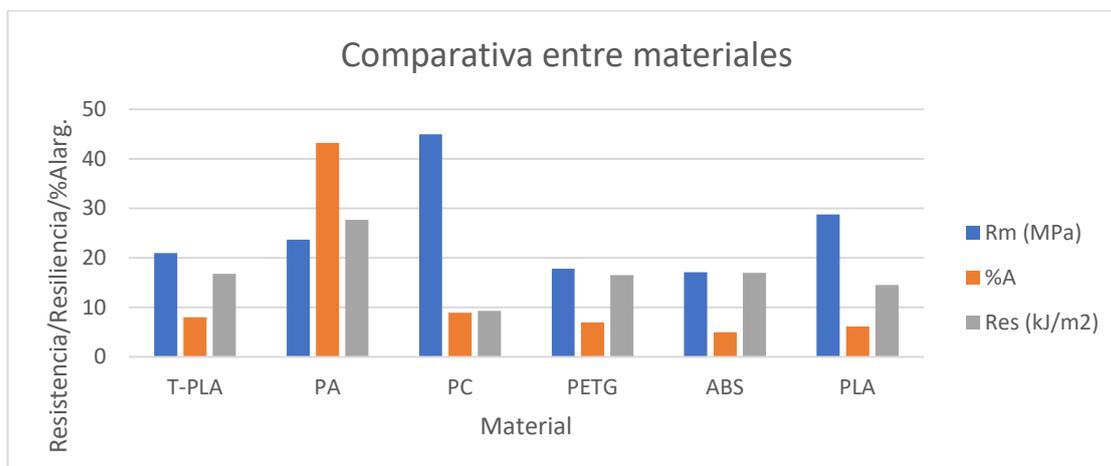
## RESULTADOS

La principal dificultad a la hora de evaluar los resultados de las propiedades mecánicas de un material impreso en 3D es que no tiene una sección constante, debido al patrón que se genera en su interior. Por ello, se ha considerado como la opción más fiel a la realidad el realizar el cálculo de la masa de relleno que tiene cada probeta. De esta forma, se obtienen los siguientes valores:



**Figura 1.** Variación de las propiedades mecánicas frente a la cantidad de relleno empleado

Como era de esperar, conforme aumenta la cantidad de relleno la resistencia máxima aumenta; de forma análoga, la resistencia al impacto también aumenta a mayor relleno. Sin embargo, el alargamiento a la rotura disminuye, pasando del 10% a valores del 5%. En la siguiente gráfica se puede observar una comparativa entre varios materiales para el caso del 25% de relleno. Claramente, el PC tiene la mayor resistencia de todos, a costa de un comportamiento frágil, mientras que la PA muestra la mayor resiliencia y alargamiento, y una buena resistencia también; este último claramente tiene el comportamiento más completo de todos. En cuanto al resto, muestran valores similares en todas las áreas; específicamente, el T-PLA muestra una resistencia inferior al PLA, pero con una ductilidad algo mayor. También mejora las propiedades del ABS.



**Figura 2.** Comparativa de las propiedades mecánicas entre diversos materiales

## CONCLUSIONES

Es evidente que los resultados de una pieza impresa en 3D pueden ser difíciles de interpretar, como es el caso. Al aumentar el relleno, es lógico esperar un aumento de la resistencia, ya que la sección efectiva ha aumentado, por lo que hay más material para poder repartir las tensiones. Sin embargo, el caso del alargamiento es más complejo: cabría esperar unos valores similares, puesto que es un parámetro independiente de la sección, pero en los ensayos se ha producido una reducción de su capacidad de elongación. Esto deja patente que el relleno tiene una influencia negativa en el reparto de las tensiones, generando probablemente concentradores de tensión que terminan por provocar una fractura temprana. Esto se apoya también en el hecho de que, a mayor relleno, el material mostraba un comportamiento más frágil.

En conclusión, el TPLA se muestra como un material que, en el corto plazo, puede sustituir al PLA en el campo de la impresión 3D en aquellos usos que requieran de un comportamiento más predecible. Para poder conseguirlo, es preferible generar piezas con una cáscara de mayor grosor, en lugar de aumentar el relleno. De esta forma, se reducen los posibles concentradores de tensiones, y se favorece que éstas se distribuyan por una zona con un comportamiento más similar al de un material isotrópico.

## REFERENCIAS

- [1] Tin Sin, Lee et al. (2013). *Polylactic Acid*. Gran Bretaña: Oxford. Editado por: William Andrew, ISBN: 978 1 4377 4459 0
- [2] Zhao, Xipo et al. (2020). "Super tough poly(lactic acid) blends: a comprehensive review". *RSC Adv.*, v. 10, n. 22, p.p. 13316-13368. <http://dx.doi.org/10.1039/D0RA01801E>
- [3] Kelly S. et al. (2008). "Toughening Polylactide". *Polymer Reviews*, v. 48, n. 1, p.p. 85-108. <http://dx.doi.org/10.1080/15583720701834216>
- [4] *Cómo imprimir con BCN3D Tough PLA*. <https://support.bcn3d.com/es/knowledge/tough-pla-filament-bcn3d>
- [5] *PLA vs Tough PLA*. <https://support.bcn3d.com/es/knowledge/pla-vs-tough-pla-bcn3>

## Estudio del potencial uso de poliestireno reciclado para su aplicación en envases de alimentos: circularidad y marco normativo

Sepúlveda, Javiera<sup>(1,2)</sup>, Lascano, Diego<sup>(3)</sup>, Agüero, Ángel<sup>(3)</sup>, Sánchez, Marcos<sup>(4)</sup>, Moreno, José Luis<sup>(4)</sup>, Arrieta, Marina P.<sup>(1,2)</sup>, Balart, Rafael<sup>(3)</sup>, Rivas, Ana<sup>(4)</sup>

(1) Departamento Ingeniería Química Industrial y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I. Industriales, 28006, Madrid. [javiera.sepulveda@upm.es](mailto:javiera.sepulveda@upm.es);

(2) Grupo de Investigación: Polímeros, Caracterización y Aplicaciones (POLCA), 28006, Madrid. [m.arrieta@upm.es](mailto:m.arrieta@upm.es)

(3) Instituto de Tecnología de Materiales (ITM), Universitat Politècnica de València (UPV), 03801, Alcoy, Alicante. [anagrod@upv.es](mailto:anagrod@upv.es); [dielas@epsa.upv.es](mailto:dielas@epsa.upv.es); [rbalart@mcm.upv.es](mailto:rbalart@mcm.upv.es)

(4) Ecoembalajes España S.A., 28016, Madrid. [m.sanchezr@ecoembes.com](mailto:m.sanchezr@ecoembes.com); [j.moreno@ecoembes.com](mailto:j.moreno@ecoembes.com); [a.rivas@ecoembes.com](mailto:a.rivas@ecoembes.com)

### RESUMEN

La importancia de contar con plástico reciclado seguro para el contacto alimentario, como principal campo de aplicación de estos materiales, ha llevado a que diferentes actores mantengan una activa búsqueda de alcanzar y comprobar su inocuidad para autorizar el uso de plásticos reciclados según las regulaciones vigentes. Para ello, se presenta una etapa preliminar al estudio de propuesta de descontaminación e identificación de contaminantes para poliestireno (PS), tanto mediante el reprocesado de material, simulando reutilización de residuos industriales, como de la recolección de envases de yogurt post-consumo en el campus universitario. En el presente trabajo, se evalúan medios de lavado alcalino y con tensioactivo catiónico en la eliminación de materia orgánica y adhesivos, con el fin de incorporar la fase de descontaminación en siguientes etapas, además del estudio termogravimétrico de las muestras. Se observaron mejores resultados para medio alcalino 2 y 3% p/p con un ciclo de lavado de 20 minutos y la combinación de dos ciclos de 10 minutos en medio alcalino y posterior surfactante catiónico, permitiendo resultados similares en sólidos suspendidos y materia disuelta en los remanentes del lavado, donde el CTAB por su mayor potencial para eliminar olores puede afectar positivamente en la siguiente etapa de descontaminación.

**Palabras clave:** Poliestireno, Reciclado, Envases, Post-Consumo, Contacto alimentario, Circularidad, Regulación

### INTRODUCCIÓN

Bajo el lineamiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) la Comisión Europea ha planteado diversas estrategias para disminuir los residuos plásticos, incluyendo el llamado a que todos los envases plásticos sean completamente reciclables, reutilizables o compostables de manera viable económicamente para 2030.

A nivel global los envases para alimentos representan el 44% de las aplicaciones para las cuales se utilizan los plásticos producidos en el mercado [1], por lo cual la demanda de material reciclado en este sector es clave para progresar en materia de circularidad y sostenibilidad. Para fomentar esa introducción, el Real Decreto 1055/2022 de envases y residuos de envases, busca alcanzar una incorporación de plástico reciclado en envases introducidos en el mercado de al menos un 30% para 2030 [2].

### **Marco normativo**

La inclusión de material reciclado en envases para alimentos conlleva una serie de desafíos que permitan alcanzar un material con las condiciones de seguridad alimentaria requeridas. Actualmente en la Unión Europea cualquier material reciclado que se desee comercializar con ese fin debe cumplir con el reglamento (CE) No 2022/1616, lo que incluye pasar un proceso de evaluación por parte de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (European Food Safety Authority: EFSA) y posterior autorización emitida por la Comisión Europea. Para ello, se debe cumplir con los requisitos del Reglamento (UE) No 10/2011 para la fabricación y comercialización de materiales y objetivos plásticos para contacto alimentario, bajo lo cual se asegura la conformidad del Reglamento (CE) No 1935/2004 que a modo general busca garantizar que no exista un riesgo para la salud humana, alteraciones organolépticas y apariencia en los productos.

La utilización de plásticos reciclados post-consumo centra su estudio en la eliminación de contaminantes que puedan ver mermada su reincorporación en la cadena como envase de alimentos. Principalmente se describen los siguientes tipos [3]: contaminantes de entrada provenientes de envases no adecuados para contacto alimentario, mal uso del consumidor o baja eficiencia en la etapa de separación de residuos; contaminantes químicos propios del proceso de reciclaje y finalmente contaminantes procedentes del nuevo procesamiento del material por degradación de cadenas poliméricas o interacciones de los remanentes de contaminantes mencionados anteriormente, que puedan formar nuevos productos de reacción.

En el reciclado mecánico, posterior a la recogida, clasificación y triturado de los plásticos post-consumo se realiza una limpieza con posterior enjuague y secado. Para alcanzar el grado alimentario actualmente en procesos autorizados se introduce una superlimpieza o descontaminación por filtrado y policondensación en fundido con vacío.

### **Circularidad en el campus universitario**

A nivel universitario, una alternativa que permite unir tanto la circularidad en el campus universitario, como la búsqueda de generar conocimiento en esta materia, consiste en la recogida de residuos generados en este espacio, donde se tiene un mayor control del origen de los envases post-consumo. Además, se fomenta la reutilización del material, alargando su vida útil permitiendo recoger material post-consumo real y potencialmente permitiendo su reutilización en una segunda vida.

### **Poliestireno**

El poliestireno (PS), particularmente de alto impacto (HIPS) en sus diferentes versiones y mezclas con poliestireno de propósito general (GPPS), es el material más utilizado en envases para yogurt por su procesabilidad y permeabilidad. Si bien a la fecha no se cuenta con tecnologías de reciclado de PS post-consumo autorizadas por la Comisión Europea para grado alimentario, los alimentos refrigerados representan una favorable aplicación al minimizar la potencial migración de sustancias al alimento envasado [4].

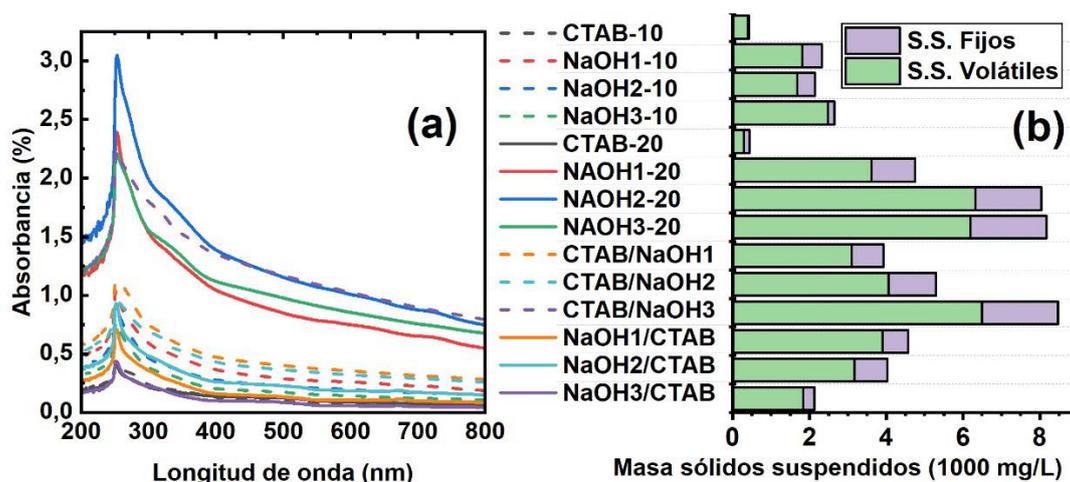
## **OBJETIVOS**

Estudiar la naturaleza de los contaminantes presentes y su descontaminación mediante alternativas al proceso en estado fundido actual para evaluar el potencial de incorporar PS reciclado post-consumo para envases de alimentos. Esto se realizará mediante la comparación de contaminantes provenientes de envases de yogurt post-consumo recolectados en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSII-UPM), previo lavado a evaluar con agente

alcalino (NaOH) y tensioactivo catiónico (CTAB), y PS reprocesado una vez, elaborado por extrusión para simular la revalorización de productos plásticos defectuosos generados en la producción.

## RESULTADOS

Se presentan los resultados de pruebas de lavado de los envases post-consumo, mediante agitación en medio acuoso con hidróxido de sodio (NaOH) al 1%, 2% y 3% p/p y surfactante bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB) 92 mM [5], en tandas de 10 y 20 minutos con prelavado y poslavado con agua de 10 min.



**Figura 1.** Espectro de absorción de agua de lavado con sólidos disueltos (a) y sólidos suspendidos fijos y volátiles de remanentes filtrados (b).

Respecto a las pruebas de lavado a los envases de yogurt (HIPS-YG) y tras separar los remanentes en agua de tamaño 20-25  $\mu\text{m}$  por filtrado para estudiar los sólidos disueltos por UV-visible. En la figura 1-a se ve un pico de absorbancia entre a 251 nm y 253 nm para cada prueba, el que puede ser relacionado con los niveles de materia orgánica de origen natural presentes [6]. A los 10 minutos de lavado se obtienen los resultados más bajos para sólidos disueltos y suspendidos (figura 1-b), especialmente con CTAB, que aún en el doble de tiempo (20 min) no muestra mejoría en los resultados. Con un 2 y 3% p/p de NaOH se obtienen resultados similares en 20 min, equiparables a la utilización previa de CTAB por 10 min seguido de 3% p/p de NaOH en otra tanda de 10 min, donde el surfactante tiene además el potencial de actuar como mejor eliminador de olores para el PS que el medio alcalino [5].

**Tabla 1.** Temperatura inicial de degradación al 5% de pérdida de masa ( $T_{5\%}$ ) y de máxima velocidad de degradación ( $T_{\text{max}}$ ) para HIPS virgen (HIPS-V), con un ciclo de reprocesado (HIPS -RP) y hojuelas de envases de yogurt (HIPS-YG).

Muestra	$T_{5\%}$ (°C)	$T_{\text{max}}$ (°C)
HIPS-V	368,27	438,47
HIPS-YG	368,21	424,54
HIPS-RP	340,57	430,79

En la tabla 1 se presenta la caracterización inicial mediante análisis termogravimétrico (TGA) desde 40 a 800°C a 10°C/min a cada muestra previo a su procesamiento final. Se observa la disminución de la temperatura de inicio de degradación ( $T_{5\%}$ ) para el material reprocesado (HIPS-RP), al ser sometido a un tratamiento térmico adicional, sin

embargo manteniendo una estabilidad térmica similar a su contraparte virgen (HIPS-V). Por otro lado, HIPS-YG presenta una menor temperatura máxima de degradación ( $T_{max}$ ) lo que podría indicar una menor proporción de polibutadieno en su composición [7].

## CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la capacidad de remoción de materia orgánica y etiquetas de envases post-consumo de PS, se identificó preliminarmente la composición inicial de los materiales y se determinaron como mejores opciones para lavado a temperatura ambiente: i) NaOH 2% p/p por 20 min y ii) CTAB 92 mM y NaOH 3% p/p por 10 min cada uno, con la ventaja adicional que el CTAB permite remover olores.

## AGRADECIMIENTOS

J. Sepúlveda agradece al proyecto de la Universidad Politécnica de Madrid “SDGine for Healthy People and Cities” bajo el que se realiza esta investigación, el cual ha recibido financiación del Programa de Investigación e Innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en el marco del acuerdo de subvención Marie Skłodowska-Curie No 945139 y de ECOEMBALAJES ESPAÑA, S.A. (Ecoembes). Además, este trabajo fue financiado por los proyectos de I+D+i PID2020-116496RB-C22 y PID2021-123753NA-C32 por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por “FEDER Una manera de hacer Europa” y TED2021-129920A-C43 y CNS2022-136064 por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la “Unión Europea NextGenerationEU/PRTR”. Á. Agüero-Rodríguez y D. Lascano agradecen sus contratos postdoctorales Margarita Salas con la Universitat Politècnica de València con movilidad a la Universidad Politécnica de Madrid, financiado, a través del Ministerio de Universidades, por la Unión Europea-Next generation EU/PRTR.

## REFERENCIAS

- [1] Plastics Europe. *Plastics – the Facts 2022*. <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-facts-2022/>
- [2] Real Decreto 1055/2022, de 27 de diciembre, de envases y residuos de envases. *Boletín Oficial del Estado*, n. 311 (2022).
- [3] Franz, Roland; Welle, Frank (2022). “Recycling of Post-Consumer Packaging Materials into New Food Packaging Applications—Critical Review of the European Approach and Future Perspectives”. *Sustainability*, v. 14, n. 2. p.p. 824. <https://doi.org/10.3390/su14020824>
- [4] Welle, Frank (2023). “Recycling of Post-Consumer Polystyrene Packaging Waste into New Food Packaging Applications—Part 1: Direct Food Contact”. *Recycling*. v. 8, n. 1, p.p. 26. <https://doi.org/10.3390/recycling8010026>
- [5] Roosen, Martijn; et al. (2022). “Deodorization of post-consumer plastic waste fractions: A comparison of different washing media”. *Science of The Total Environment*, v. 812, p.p. 152467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152467>
- [6] Peacock, Mike; et al. (2014). “UV-visible absorbance spectroscopy as a proxy for peatland dissolved organic carbon (DOC) quantity and quality: considerations on wavelength and absorbance degradation”. *Environmental Science: Processes & Impacts*, v. 16, n. 6, p.p. 1445. <https://doi.org/10.1039/C4EM00108G> *Research and Design*, v. 111, pp. 204–217. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2016.03.033>

## Aplicación de membranas electrohiladas coaxiales para la liberación controlada de fármacos

Martín-Cabezuelo, Rubén<sup>(1)</sup>, Sofía Mares-Bou<sup>(2)</sup>, Serrano, María-Antonia<sup>(3)</sup>, Gómez-Tejedor, José Antonio<sup>(4)</sup>,

(1) Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, [rubmarca@doctor.upv.es](mailto:rubmarca@doctor.upv.es)

(2) Centro de Biomateriales e Ingeniería Tisular, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, [sofiamaresbou@gmail.com](mailto:sofiamaresbou@gmail.com)

(3) Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia, [mserranj@fis.upv.es](mailto:mserranj@fis.upv.es)

(4) Departamento de Física Aplicada, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera, s/n 46022 Valencia. CIBER de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina, Instituto de Salud Carlos III [jogomez@upv.es](mailto:jogomez@upv.es)

### RESUMEN

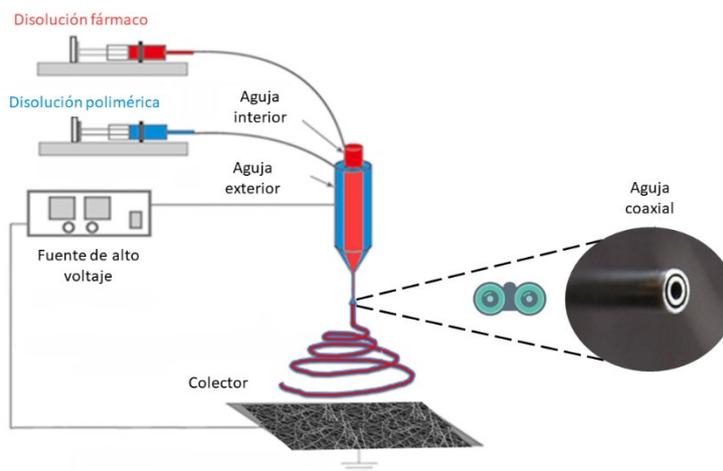
Este artículo describe el proceso de electrohilado coaxial para la producción de membranas con aplicación en liberación de fármacos de forma controlada. Este tipo de estructuras son muy útiles en diferentes áreas de la biomedicina, incluyendo tanto la medicina regenerativa como la ingeniería de tejidos y órganos.

**Palabras clave:** electrohilado coaxial, nanofibras, microfibras, ingeniería tisular, medicina regenerativa, liberación de fármacos.

### INTRODUCCIÓN

El electrohilado (ES) es una técnica simple, práctica y adaptable para producir fibras poliméricas continuas con diámetros desde rangos nanométricos hasta micrométricos. Cabe añadir que este método tan versátil permite la encapsulación de múltiples fármacos, propiciando una liberación controlada [1]. Los solventes que se emplean a la hora de producir estas fibras poliméricas suelen ser peligrosos tanto para los humanos que trabajan con ellos como para el medio ambiente que nos rodea. Se recomienda fomentar sustitución de dichos solventes por otros que sean más respetuosos con el entorno, permitiendo así una mejora considerable del proceso de síntesis y una reducción en su peligrosidad y consecuente gestión de residuos [2]. Se han reportado más de 200 polímeros en ES [3]. Los polímeros naturales (colágeno, quitosano, gelatina, ácido hialurónico (HA) y fibroína de seda) y sintéticos (PCL, PLGA, PLA, PGA y PLCL) se han electrohilado en nanofibras para formar soportes potenciales para aplicaciones biomédicas, tales como, andamios celulares y dispositivos para liberación de fármacos [4-6]. En cuanto a la fabricación de membranas electrohiladas, resulta particularmente atractivo el uso de sistemas de electrohilado coaxial para encapsular fármacos en el interior de las fibras poliméricas. El ES coaxial en comparación con las técnicas empleadas hasta el momento basadas en absorción del fármaco o mezclas dependientes de la afinidad de los compuestos con el fármaco seleccionado, permite obtener mejores resultados. [7,8]. La encapsulación de biomoléculas mediante esta técnica de síntesis se basa en circular la solución del fármaco por la aguja interna del sistema mientras la solución polimérica circula por la externa. De esta forma se obtienen fibras con un core que contiene el fármaco objetivo recubierto por una estructura polimérica [9]. Esta técnica permite la encapsulación de múltiples biomoléculas cuya

cinética de liberación se puede controlar ajustando los parámetros del sistema de síntesis [10]. El uso de un sistema de electrohilado empleando una aguja coaxial puede preservar la integridad y bioactividad del fármaco gracias a que no existe necesariamente un contacto con el disolvente orgánico (disolvente del polímero en el que se encapsula el fármaco) [11-13]. En este proceso de encapsulación por ES coaxial se utiliza un sistema que consiste en una aguja coaxial (Figura 1), por la que circulan dos soluciones, generalmente inmiscibles, una de ellas por la aguja interna, y otra por la externa, para formar una estructura con un núcleo central y un caparazón externo (Figura 1) [14].



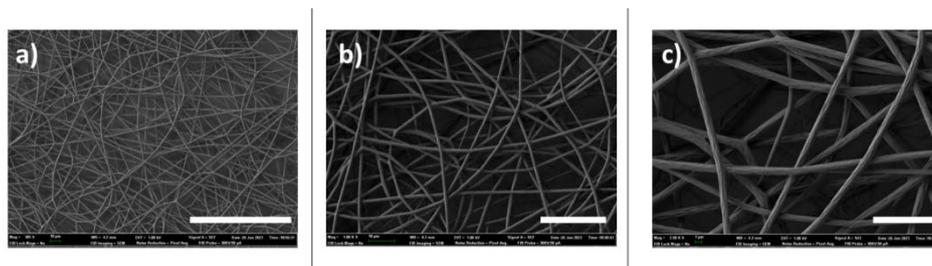
**Figura 15.** Representación esquemática del proceso de síntesis de membranas mediante electrohilado coaxial.

## OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es el desarrollo de un sistema de fabricación por electrohilado coaxial de membranas para su uso en un sistema de liberación controlada de fármacos. Empleando polímeros biodegradables, tales como, ácido poliláctico (PLLA), policaprolactona (PCL) y alcohol polivinílico (PVA) y disolventes con mayor conciencia ambiental (solventes verdes).

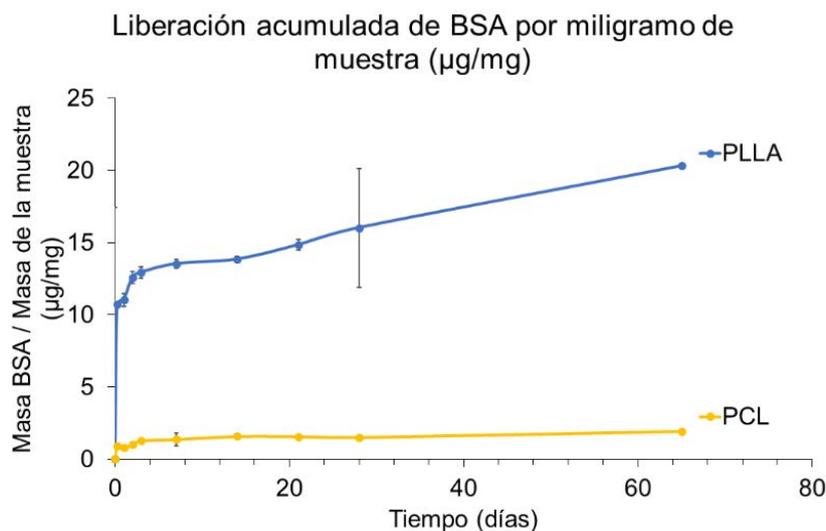
## RESULTADOS

Las muestras mostradas en la **Figura 2** permiten observar imágenes de microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) de membranas formadas por microfibras coaxiales, cuyo exterior está conformado por una disolución de PLLA al 15% p/v en una mezcla de etil acetato y dimetilsulfóxido (DMSO) (80:20 v/v), y con un interior compuesto de una disolución de PVA al 5% en DMSO suministrando unos caudales de 4ml/h y 1ml/h respectivamente. El colector se encuentra situado a 15 cm de distancia de la punta de la aguja empleando un diferencial de potencial de 15kV. La superficie obtenida presenta una morfología con rebabas irregulares debidas a la evaporación y afinidad de los diferentes solventes verdes empleados (EA y DMSO) por sus diferentes velocidades de evaporación durante el proceso de síntesis.



**Figura 16** Imágenes de microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) de fibras coaxiales de interior PVA 5% en dimetilsulfóxido a 1ml/h y exterior PLLA disuelto al 10% p/v en una mezcla de Ethil Acetato y dimetilsulfóxido (80:20 v/v) a 2 mL/h, distancia de 15 cm y diferencia de potencial de 15 kV. a) 385x (b) 1000x y c) 2500x. Barras de escala 100  $\mu\text{m}$ , 25  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ .

En la **Figura 3** se puede observar el perfil de liberación de proteína de suero de albúmina bovina cargada en membranas coaxiales electrohiladas de PLLA y PCL durante 65 días. Tanto las membranas de PCL como de PLLA permiten la liberación BSA en el tiempo de estudio pero se observan diferentes velocidades de liberación. En el caso de la PCL se observa una evolución constante en el valor acumulativo de liberación, mientras que las membranas coaxiales de PLLA presentan un comportamiento de liberación más continuado. Esto es debido a que, en el tiempo de estudio, la PCL no se ha degradado hasta permitir la liberación del biocomponente, mientras que la PLLA, al presentar una degradación por superficie en tiempos más cortos, expone antes el BSA para que sea liberado.



**Figura 17.** Liberación acumulada de proteína de suero de albúmina bovina (BSA) integrada en membranas formadas por microfibras coaxiales de PLLA y PCL.

## Conclusiones

Se han conseguido sintetizar membranas coaxiales con diferentes composiciones poliméricas (PLLA, PCL y PVA) y cargadas con BSA. Las membranas producidas presentan unas velocidades de liberación diferentes, permitiendo así el poder escoger en función de aplicación final, que elementos escoger, tanto para liberaciones lentas (PCL) como para liberaciones más rápidas y prolongadas en el tiempo (PLLA).

## REFERENCIAS

- [1] Adnan. Haider, Sajjad. Haider, Inn.-Kyu. Kang, (2018) "A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology", *Arab. J. Chem.* 11, 1165–1188. doi: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.11.015>.
- [2] Avossa, Joshua, Herwig, Gordon, Toncelli, Claudio, Itel, Fabian, Rossi, René Michel (2022), "Electrospinning based on benign solvents: current definitions, implications and strategies", *Green Chemistry*, 24, 6, pp 2347-2375, <https://doi.org/10.1039/d1gc04252a>
- [3] Tijing, Leonardo.D., Yao, Minwei., Ren, Jiawei., Park, Chan.H., Kim, Cheol.S., and Shon, Ho.K. (2019). "Nanofibres for water and wastewater treatment: Recent advances and developments". In Bui, X.T., Chiemchaisri, C., Fujioka, T., Varjani, S. (Eds.), *Water and Wastewater Treatment Technologies*, pp 431–468. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-3259-3\\_20](https://doi.org/10.1007/978-981-13-3259-3_20).
- [4] Chen, Shixuan., Li, Ruiquan., Li, Xiaoran., and Xie, Jingwei. (2018). "Electrospinning: An enabling nanotechnology platform for drug delivery and regenerative medicine". *Advanced Drug Delivery Reviews*, 132, pp 188–213, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2018.05.001>.
- [5] Agrahari, V., Meng, J., and Mitra, A.K. (2017). Chapter 9 – "Electrospun nanofibres in drug delivery: Fabrication, advances, and biomedical applications" In Mitra, A.K., Cholkar, K., and Mandal, A. (Eds.), *Emerging Nanotechnologies for Diagnostics, Drug Delivery and Medical Devices*, pp 189–215. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1007/s44174-022-00042-z>
- [6] Shahriar, Shatil.M.S., Mondal, Jagannath., Hasan, Mohammad.N., Revuri, Vishnu, Lee, Dong.Y., and Lee, Yong.K. (2019). "Electrospinning nanofibres for therapeutics delivery" *Nanomaterials*, 9 . Doi: <https://doi.org/10.3390/nano9040532>
- [7] Wang, Yilong, Sun, Dahui, Dong, Wenying, Ma, Wendi, and Zhang, Mei (2018). "Rana Chensinensis Skin Collagen/Poly(lactic-co-glycolic acid) Microspheres as a Potential Antibiotic Controlled Delivery System by Coaxial Electro Spray" *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering*, 8, 11, pp 1588-1595, doi: <https://doi.org/10.1166/jbt.2018.1914>
- [8] Nagiah, Naveen, Murdock, Christopher, Bhattacharjee, Maumita, Nair, Lakshmi and Laurencin, Cato. (2020). "Development of Tripolymeric Triaxial Electrospun Fibrous Matrices for Dual Drug Delivery Applications" *Scientific Reports*. 10. <https://doi.org/609.10.1038/s41598-020-57412-0>.
- [9] Pant, Bishweshwar, Park, Mira, Park, Soo-Jin. (2019). "Drug Delivery Applications of Core-Sheath Nanofibers Prepared by Coaxial Electrospinning: A Review" *Pharmaceutics*. 11, 305. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11070305>.
- [10] Lee, Yi., Bai, Meng, Chen, Da-Ren (2011). "Multidrug encapsulation by coaxial tri-capillary electrospray" *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 82, 1, pp 104-110, ISSN 0927-7765, doi: <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.08.022>.
- [11] Ye, Peiwen, Wei, Suying, Luo, Chaohua, Wang, Qirui, Li, Anzhang, and Wei, Fenghuan. (2020). "Long-Term Effect against Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus of Emodin Released from Coaxial Electrospinning Nanofiber Membranes with a Biphasic Profile" *Biomolecules*, 10, 3, doi: <https://doi.org/10.3390/biom10030362>
- [12] Pant, Bishweshwar, Park, Mira, and Park, Soo J. (2019). "Drug Delivery Applications of Core-Sheath Nanofibers Prepared by Coaxial Electrospinning: A Review" *Pharmaceutics*, 11, 7, 305-326, doi: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics11070305>
- [13] Wang, Jing, and Windbergs, Maike (2019). "Controlled dual drug release by coaxial electrospun fibers – Impact of the core fluid on drug encapsulation and release" *International Journal of Pharmaceutics*, 556, 363-371, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2018.12.026>.
- [14] Li, Fengyu, Zhao, Yong, and Song, Yanlin (2010). "Core-Shell Nanofibers: Nano Channel and Capsule by Coaxial Electrospinning" Kumar, A. (Ed.), *Nanofibres. IntechOpen*, doi: <https://doi.org/10.5772/8166>

## Comportamiento térmico de biocomposites basados en PLA reprocesado, plastificado y reforzados con celulosa bacteriana

Agüero, Ángel <sup>(1)</sup>, Lascano, Diego <sup>(2)</sup>, Sepúlveda, Javiera <sup>(3)</sup>, Arrieta, Marina P. <sup>(4)</sup>

- (1) Instituto de Tecnología de Materiales, Universitat Politècnica de València, ITM-UPV. Alcoy, Alicante. Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM. Madrid. [anagrod@upv.es](mailto:anagrod@upv.es)
- (2) Instituto de Tecnología de Materiales, Universitat Politècnica de València, ITM-UPV. Alcoy, Alicante. Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM. Madrid. [dielas@epsa.upv.es](mailto:dielas@epsa.upv.es)
- (3) Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM, Madrid, España. Grupo de Investigación: Polímeros, Caracterización y Aplicaciones (POLCA). [javiera.sepulveda@upm.es](mailto:javiera.sepulveda@upm.es)
- (4) Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, ETSII-UPM, Madrid, España. Grupo de Investigación: Polímeros, Caracterización y Aplicaciones (POLCA). [m.arrieta@upm.es](mailto:m.arrieta@upm.es)

### RESUMEN

Dada la importancia del PLA dentro de la industria plástica, y aun existiendo la posibilidad de compostarlo, resulta bastante interesante el reciclado de este material. Los sistemas de reciclado de polímeros (separación, lavado, secado, etc.) pueden considerarse relativamente complejos y además, afectan negativamente a las propiedades del material. Estos inconvenientes pueden verse ligeramente solventados cuando el reciclado que se lleva a cabo es de material descartado directamente de las líneas de producción. En este trabajo se han estudiado las propiedades térmicas de PLA de post producción reciclado mecánicamente (simulado mediante el reprocesado de PLA virgen) al cual se le ha añadido un plastificante de origen vegetal así como celulosa bacteriana obtenida por fermentación de kombucha.

**Palabras clave:** PLA reprocesado, celulosa bacteriana, kombucha.

### INTRODUCCIÓN

El poli(ácido láctico) (PLA) es un biopolímero que ofrece un conjunto de características lo convierten en un material que encuentra una gran aplicabilidad en soluciones de empaquetado, films y utensilios desechables entre otras. Si bien este biopolímero puede ser eliminado mediante compostaje, teniendo en cuenta su presencia en la industria y los inevitables desecho y descartes que se producen en cualquier línea de producción, el reciclado o reprocesado del PLA resulta interesante desde el punto de vista industrial.

No obstante, el reciclado de polímeros puede implicar que se lleven a cabo varios procesos como el lavado, tratamiento con disolvente, triturado y/o su fusión para su transformación. Aunque el reciclado es una buena estrategia para evitar que los polímeros se transformen en residuos tras su uso, los distintos procesos que se llevan a cabo para ello afectan negativamente a su estructura molecular, evidenciándose en cierta disminución de las características del material [1]. Como es lógico, si un material es reciclado varias veces debe ser sometido varias veces a los distintos procesos y por

consiguiente, el efecto sobre su estructura interna será incrementando. Generalmente, para suplir este deterioro del rendimiento de los polímeros reciclados puede añadirse cierta cantidad de polímero virgen, incorporar aditivos o introducir un segundo material en forma de partículas que haga de refuerzo.

En este trabajo se llevado a cabo el estudio de las propiedades térmicas de films obtenidos empleando PLA reprocesado hasta un total de 3 veces al que se le añadió aceite de linaza maleinizado (MLO) al 5% en peso y celulosa bacteriana obtenida por fermentación de kombucha (KBC) en dos contenidos distintos (al 3 y al 5 p/p). El número de ciclos de reprocesado ha sido seleccionado en base a estudios previos REF mientras que el MLO se ha seleccionado debido a su comprobado efecto positivo sobre matrices de PLA ya que puede actuar como plastificante y/o extensor de cadenas. Por último la KBC se seleccionó como material de refuerzo pues además de ser generada como subproducto de la fermentación de la bebida de kombucha (una bebida probiótica con una cuota de mercado creciente), se ha comprobado retiene cierta actividad antioxidante debido a su síntesis en caldo rico en polifenoles lo que puede contribuir positivamente a las características del biocomposite finalmente obtenido.

## **METODOLOGÍA**

### **Reprocesado del PLA.**

Como se ha comentado, con la intención de simular el reciclado mecánico de PLA que ha sido descartado o desechado de la línea de producción, se sometió pellet virgen de PLA a varios ciclos de procesado. Consistiendo cada ciclo en el procesado del pellet empleando un extrusora de doble usillo, con temperaturas programadas desde la tolva a la salida de 180, 185, 190 y 195 °C, seguido del triturado del filamento extruido resultante, el material fue sometido a un total de 3 ciclos. Como resultado se obtuvo una granza de PLA el cual había sido fundido hasta en tres ocasiones, etiquetado como PLAr3.

### **Obtención de la celulosa bacteriana.**

La celulosa bacteriana que se empleó es generada de forma natural como subproducto de la fermentación de kombucha. La kombucha es una bebida probiótica que se obtiene al fermentar una infusión de té azucarado empleando para ello un tipo determinado de colonia simbiótica de bacterias y levaduras (comúnmente llamado SCOBY). Dicho SCOBY, por naturaleza, se sustenta en una matriz de celulosa que la propia colonia se encarga de producir mediante el consumo de los nutrientes presentes en la infusión que se fermenta. Por tanto, una vez llevada a cabo la fermentación del té azucarado para convertirlo en kombucha, se habrá creado cierta cantidad de celulosa bacteriana como consecuencia del crecimiento del SCOBY.

La producción de celulosa bacteriana para el presente trabajo se llevó a cabo incubando durante 4 semanas un SCOBY inmerso en 3 L de infusión de té verde azucarado. Para la elaboración de la infusión se emplearon 15 g de té verde y 200 g de azúcar. Un vez transcurrido el tiempo de incubación, el SCOBY generado debido a la fermentación aparece flotando o simplemente en la parte superior del SCOBY inicial. Este SCOBY generado es entonces extraído, lavado repetidamente con agua destilada y esterilizado en un autoclave a 121 °C durante 16 minutos. Seguidamente se desestructura el material introduciéndolo en agua desionizada y empleando un dispersor Ultraturax 45/2

(3 ciclos de 30 segundos). Finalmente la disolución resultante es filtrada para retirar el exceso de agua y secado a 50-60 °C durante 24 horas y triturado para obtenerlo así en forma de polvo.

### Fabricación de las muestras.

La fabricación de los films se llevó a cabo empleando una microextrusora cónica de doble husillo acoplada a una línea de producción de film por extrusión. El perfil térmico programado para la extrusora fue de 195, 190 y 190 °C para las tres zonas de calentamiento, todas las formulaciones se mantuvieron 3 minutos dentro de la cámara de calentamiento y la velocidad de los husillos se estableció en 25 rpm. En cuanto a la línea de extrusión de films, se le estableció una temperatura a la entrada de 180 °C y una velocidad de arrastre de 1200 mm min<sup>-1</sup>.

### Caracterización térmica.

Para la caracterización térmica de cada uno de los films fabricados se llevaron a cabo dos ensayos: un análisis dinámico de barrido (DSC) y un análisis termogravimétrico (TGA). El análisis DSC se realizó en base a los termogramas obtenidos del segunda etapa de calentamiento del ciclo térmico programado, el cual consistió en una rampa de 30 °C a 200 °C para borrar el historial térmico del material, seguido de un enfriamiento hasta los 0 °C y finalmente la segunda rampa de calentamiento hasta los 300 °C. El equipo empleado fue un DSC 821 de Mettler-Toledo. En cuanto al TGA, se configuró una rampa térmica desde los 40°C hasta los 800 °C, en atmosfera de nitrógeno y empleando un TGA2050 fabricado por TA Instruments. Para ambos ensayos y en cada una de las etapas se emplearon velocidades de 10 °C min<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS

Tabla 1. Valores obtenidos en la segunda etapa de calentamiento del DSC.

Film	$T_g$ (°C)	$T_{cc}$ (°C)	$\Delta H_{cc}$ (J g <sup>-1</sup> )	$T_m$ (°C)	$\Delta H_m$ (J g <sup>-1</sup> )	$\chi_c$ (%)
PLA	59.78 ± 0.2	120.25 ± 0.9	8.57 ± 0.7	151.16 ± 0.3	13.67 ± 1.2	5.44 ± 0.4
PLAr3	59.43 ± 0.5	116.13 ± 0.8	14.96 ± 0.7	149.42 ± 0.5	22.17 ± 1.1	7.69 ± 0.2
PLAr3 - MLO	59.94 ± 0.4	123.45 ± 1.1	5.67 ± 0.9	151.91 ± 0.6	19.36 ± 0.9	15.38 ± 0.3
PLAr3 - MLO / 3 KBC	57.43 ± 0.4	122.47 ± 0.9	7.12 ± 1.1	149.62 ± 1.5	20.44 ± 0.7	15.45 ± 0.2
PLAr3 - MLO / 5 KBC	57.94 ± 0.6	123.14 ± 1.1	9.51 ± 0.9	150.29 ± 1.7	18.85 ± 1.1	11.08 ± 0.5

Debido a las temperaturas y esfuerzos mecánicos presentes en el reciclado la estructura molecular del material suele verse afectada negativamente, principalmente debido a la escisión de sus cadenas poliméricas REF. Como consecuencia de la disminución de las longitudes de las cadenas poliméricas, éstas encuentran más libertad de movimiento, haciendo que se requiere menor energía para modificar su ordenamiento. Como puede apreciarse en la Tabla 1, los valores de las tres temperaturas de transición térmica del PLAr3 se encuentran por debajo de las obtenidas para los films de PLA virgen. Al incorporarse el MLO, esta disminución se ve recuperada, incluso superando los valores obtenidos para el PLA, indicando una buena efectividad del MLO en matrices de PLAr3 para suplir el deterioro de su estructura interna producido por el reprocesado. Luego, al

incorporar la KBC se adelantan nuevamente los valores, siendo esto algo asumible debido a la menor estabilidad térmica que ofrece la celulosa .

En cuanto a los resultados referentes a la degradación térmica, obtenidos por TGA, estos pueden observarse en la Figura 1 donde se muestran las curvas de pérdida de masa en función de la temperatura (Figura 1.a) y la primera derivada de dichas curvas (Figura 1.b) cuyo pico hace referencia a la temperatura de degradación máxima del material. Como se ha comentado previamente, la celulosa bacteriana ofrece una resistencia térmica menor, quedando esto reflejado en la curva de pérdida de masa. Resulta interesante observar como dicha curva está dividida en varias partes, las cuales hacen referencia a la evaporación de humedad y compuestos de bajo peso molecular, seguido de la degradación de residuos celulares y finalmente la degradación de los grupos funcionales de las cadenas de celulosa y las propias cadenas en sí. En lo referente a los films, al igual que en los resultados DSC se podría considerar que la modificación en la estabilidad térmica que provoca el reprocesado es prácticamente despreciable mientras que la presencia de la KBC bajaría aún más este valor pero esto no ocurre debido la presencia del MLO.

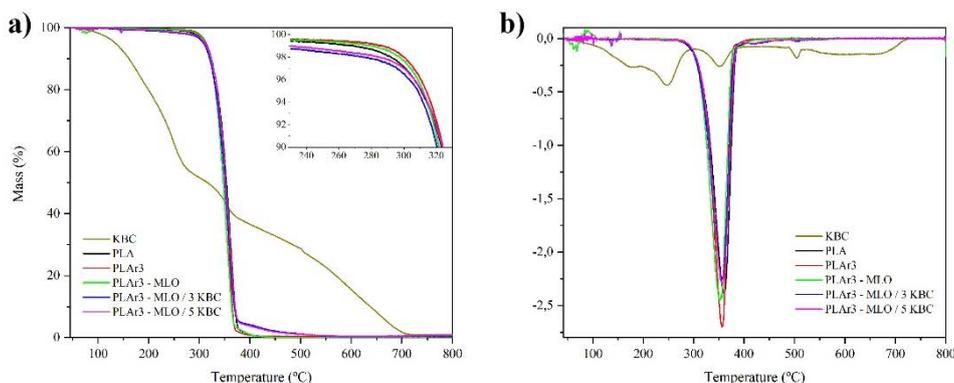


Figura 1. Resultados TGA a) curva pérdida de masa; b) primera derivada DGT.

## CONCLUSIONES

La caracterización térmica indican una disminución de la longitud de las cadenas poliméricas del PLA debido al reprocesado. Con la incorporación del MLO se consigue contrarrestar la disminución de las temperaturas de transición. Se ha comprobado el efecto positivo como extensor de cadenas o agente reticulante del MLO incluso cuando se incorporan partículas de KBC, con menor estabilidad térmica.

## REFERENCIAS

- [1] Á. Agüero, E. Corral Perianes, S. S. Abarca de las Muelas, D. Lascano, M. d. M. de la Fuente García-Soto, M. A. Peltzer, *et al.*, "Plasticized Mechanical Recycled PLA Films Reinforced with Microbial Cellulose Particles Obtained from Kombucha Fermented in Yerba Mate Waste," *Polymers*, vol. 15, p. 285, 2023.

---

## **COMUNICACIONES ORALES 2**

---



## Láseres plásticos: optimización del medio activo y de su uso como sensor utilizando un material orgánico

Farrando Pérez, Alex<sup>(1)</sup>, Dijkstra Martín, Diego<sup>(2)</sup>, Díaz García, María Ángeles<sup>(3)</sup>

(1) Departamento de Física Aplicada, Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n 03690 San Vicente del Raspeig – Alicante, alex.farrando5@gmail.com

(2) Departamento de Física Aplicada, Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n 03690 San Vicente del Raspeig – Alicante, diegodijkstra98@gmail.com

(3) Departamento de Física Aplicada e Instituto Universitario de Materiales, Universidad de Alicante, Carretera San Vicente del Raspeig s/n 03690 San Vicente del Raspeig – Alicante, maria.diaz@ua.es

### RESUMEN

El estudio de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) que emitan en la zona del infrarrojo cercano (NIR) ha despertado un gran interés recientemente. Este trabajo se ha centrado en la caracterización de las propiedades ópticas y de la emisión espontánea amplificada (ASE) de tres nanocintas o nanoribbons (NNRs) lineales no alternos, basados en perileno (NNR-1, NNR-2 y NNR-3), dispersados en películas de poliestireno (PS). Los NNRs presentan una señal de fotoluminiscencia (PL) fuerte y unos umbrales ASE significativamente bajos, apenas  $28 \mu\text{J}/\text{cm}^2$  para el NNR-3, comparados con otros nanografenos (NGs) que emiten en el NIR. Aumentar el número de veces que se repite la unidad de perileno se traduce en un desplazamiento espectral al rojo de la absorción y la PL (PL en 741 nm en el NNR-3), y en una reducción de los umbrales ASE, así como una mejora de la fotoestabilidad.

**Palabras clave:** Perileno; Nanoribbons (NNRs); Emisión espontánea amplificada (ASE); Láseres con retroalimentación distribuida (DFB); Litografía holográfica; Sensores de índice de refracción.

### INTRODUCCIÓN

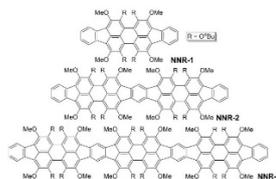
En los últimos años gran parte de la investigación del campo de la síntesis orgánica se ha centrado en sintetizar nuevos hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), como las moléculas basadas en grafenos (NGs) o compuestos complejos derivados de perilenos, que muestran un gran potencial para ser medio activo en un láser. Los láseres con retroalimentación distribuida (DFB) son uno de los tipos de láseres orgánicos de película delgada más estudiados, pues son fácilmente integrables en otros dispositivos, compactos y económicos. Hasta ahora, generalmente el resonador se ha realizado a partir de materiales inorgánicos. Sin embargo, en los últimos años hay un gran interés en incorporar resonadores de materiales orgánicos para poder fabricar dispositivos láser completamente plásticos. Este tipo de DFB es fácil de fabricar, pues las dos capas (capa activa y resonador) se pueden preparar vía disolución, de forma sencilla, obteniendo capas de espesores uniformes. Además, gracias a la litografía holográfica y al uso de la gelatina dicromatada (DCG) para fabricar el resonador, se tiene un gran control en la sintonización de la emisión del láser, pues ésta solo depende del periodo grabado y del índice de refracción efectivo:

$$\lambda_{Bragg} = \Lambda \cdot n_{eff}$$

El uso de láseres DFB con resonador orgánico como sensores de índice aún se encuentra en etapas tempranas de investigación. Pese a que en la bibliografía se reportan resultados realmente prometedores, estos aún no se han conseguido demostrar con un dispositivo totalmente orgánico.

## OBJETIVOS

En este trabajo se han estudiado las propiedades ópticas y de emisión ASE y láser de tres NNRs no alternos lineales (NNR1-3). Estos NNRs incluyen anillos pentagonales y su estructura está basada en la repetición de la unidad de diindenoperileno. Esta estructura química está representada en la Figura 1. Se trata de moléculas muy novedosas, cuya síntesis ha sido publicada recientemente. Para ello, se han preparado películas delgadas plásticas, concretamente de PS, depositadas sobre sustratos de sílice fundido con los NNRs dispersos en distintas concentraciones, y se han estudiado sus propiedades ópticas (absorción y fotoluminiscencia). Además, se ha investigado la presencia de ASE en estas películas, determinando, tanto sus umbrales y fotoestabilidad, para los distintos tipos de NNRs. Por último, se han fabricado láseres DFB con los tres materiales, optimizados para que emitan a distintas longitudes de onda, y se ha medido la capacidad sensora de uno de estos dispositivos para su posible aplicación como sensor de índice de refracción. Los NNRs estudiados son realmente novedosos y relevantes en el contexto de la investigación actual, pues trabajan en la zona del NIR, donde hay una falta de materiales orgánicos que presenten umbrales ASE bajos y fotoestabilidades altas.

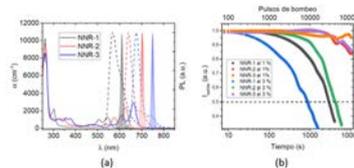


**Figura 1.** Estructura química de los compuestos NNR-1, NNR-2 y NNR-3. Figura obtenida de Copyright © Angewandte Chemie. (2022).

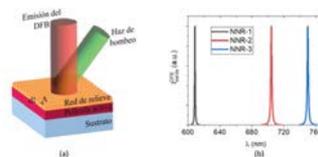
## RESULTADOS

En la Figura 2a se representan los espectros de ABS y PL de películas de PS dopadas al 1 wt% con los diferentes NNR1-3. Se puede observar que se produce un desplazamiento espectral al rojo, tanto en la absorción, como en la emisión, conforme aumenta el tamaño de la molécula. Así, es el NNR-1 el único que emite en la zona del naranja,  $570 < \lambda < 650$  nm, mientras que los otros dos lo hacen en la zona del infrarrojo cercano:  $640 < \lambda < 750$  nm, el NNR-2; y  $675 < \lambda < 800$  nm el NNR-3, siendo este último el que emite a una longitud de onda mayor. Es importante determinar las longitudes de onda de absorción y emisión de los NNRs para poder estudiar sus propiedades ASE de manera adecuada y, así, determinar qué longitud de onda es la más adecuada para excitar el material y estudiar la presencia de ASE. La presencia de ASE se produce al superar una energía umbral de bombeo, necesaria para que se produzca la inversión de población y tenga lugar la emisión estimulada, y se manifiesta como un estrechamiento del pico de emisión y un aumento significativo de la intensidad de la luz emitida por el material conforme aumenta la energía con la que se realiza el bombeo,  $E_{bombeo}$ . Los tres NNRs presentan ASE y, como se puede observar en la Figura 2a, ésta

aparece a una longitud de onda un poco mayor que la longitud de onda de emisión máxima de la PL: 610 nm para el NNR-1, 702 nm para el NNR-2 y 750 nm para el NNR-3. Otro parámetro importante es el umbral ASE, que se puede obtener realizando un barrido para diferentes energías de bombeo y así determinar a qué energía comienza a observarse el estrechamiento espectral. El valor del umbral se puede hallar por dos métodos distintos: el primer método consiste en determinar el valor de la intensidad de bombeo a la que se obtiene el valor medio entre la anchura a media altura (FWHM) del espectro ancho de PL y la FWHM del pico estrecho de ASE. El otro método se basa en obtener la intensidad de bombeo a la que se observa un cambio drástico de pendiente de la intensidad de salida. Con ambos métodos se obtienen umbrales parecidos para los tres NNRs, destacando que conforme aumenta el tamaño del NNR se reduce el umbral, siendo de unos 600  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  para el NNR-1; 69  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  para el NNR-2 y, por último, 29  $\mu\text{J}/\text{cm}^2$  en el caso del NNR-3 (error  $\approx 20\%$ ); considerablemente bajos comparados con otros materiales que emiten en el NIR. También es importante estudiar la fotoestabilidad del material, como se ha representado en la Figura 2b. Para ello se puede determinar el tiempo de vida media de la ASE ( $\tau_{\frac{1}{2}}^{ASE}$ ), que corresponde al tiempo o número de pulsos de bombeo necesarios para que la intensidad ASE de salida disminuya a la mitad de su valor inicial bajo condiciones de bombeo extremas (más de 20 veces la energía umbral ASE). Como se puede observar, todos los NNRs presentan una fotoestabilidad considerablemente alta, sobre todo el NNR-3, donde no decayó prácticamente tras más de  $10^5$  pulsos. Esto hace del NNR-3 el material con mejor umbral ASE y fotoestabilidad, que emita en la zona del infrarrojo cercano (NIR), medido hasta la fecha. Para la fabricación de un láser DFB hay que depositar sobre las muestras una película de DCG para, posteriormente, poder grabar la red de relieve mediante la litografía holográfica. Concretamente, los DFBs fabricados en este trabajo están diseñados para trabajar en segundo orden de difracción. El sistema multicapas correspondiente a los DFBs diseñados está representado en la Figura 3a. Una vez fabricados los dispositivos, se caracterizaron sus propiedades láser. En la Figura 3b se muestran los espectros láser de los láseres fabricados para cada uno de los NNRs.



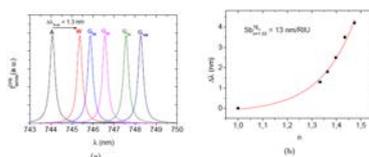
**Figura 2.** Caracterización de las propiedades ópticas. (a) Espectros a temperatura ambiente de películas de PS dopadas al 1 wt% de NNR-1 (negro), NNR-2 (rojo) y NNR-3 (azul). Coeficiente de absorción ( $\alpha$ ; líneas continuas, eje de la izquierda), PL (líneas discontinuas, eje de la derecha) y ASE (áreas coloreadas, eje de la derecha). (b) Intensidad de salida frente al tiempo y el número de pulsos para los diferentes NNRs a concentraciones de 1 wt% y 3 wt%.



**Figura 3.** Emisión de los láseres DFB. (a) Esquema general de los dispositivos DFB fabricados. (b) Picos de emisión para los diferentes NNRs con una concentración de 1 wt%.

Como se puede observar en la Figura 3b, los picos de emisión láser son mucho más estrechos que los de ASE, pues en la cavidad resonante tan sólo se produce la difracción de la longitud de onda para la que se ha calculado el periodo. Al igual que

ocurría con la ASE, el umbral DFB disminuye conforme aumenta el tamaño del NNR. Además, es importante recalcar que los umbrales que se obtienen para los DFBs son aproximadamente la mitad que los correspondientes umbrales ASE que se obtenía para cada NNR: siendo para el NNR-1  $E_{th-DFB} = 220 \mu J/cm^2$ , para el NNR-2  $E_{th-DFB} = 18 \mu J/cm^2$  y para el NNR-3  $E_{th-DFB} = 8 \mu J/cm^2$ . Esto implica que la cavidad resonante está ayudando a la amplificación de la señal y, por lo tanto, aumentando la ganancia neta, lo que se traduce en una reducción significativa del umbral. Puesto que la longitud de onda de emisión del láser depende del índice efectivo de refracción del dispositivo, un cambio en el índice de refracción del medio conlleva un cambio en el índice efectivo y, por lo tanto, un desplazamiento en la longitud de onda del láser. De esta forma, los láseres DFBs pueden utilizarse como sensores de índice de refracción, por lo que se ha estudiado la capacidad sensora de uno de los DFBs fabricados con el NNR-3. Para determinar su sensibilidad se depositaron líquidos con diferentes índices de refracción (agua y disoluciones de agua y glicerina a diferentes concentraciones) y se registraron los diferentes picos de emisión para los líquidos depositados sobre el DFB, Figura 4a. La curva de sensibilidad se obtiene representando el desplazamiento producido, respecto a aire, frente al índice de refracción del recubrimiento (índice de refracción de la gota de líquido que se ha depositado), Figura 4b. La sensibilidad del sensor, obtenida para el valor del índice de refracción del agua ( $n = 1.33$ ), es decir, el rango biológico, es de  $S_b = 13 \text{ nm/RIU}$ . Este valor es ligeramente inferior a otros sensores DFB inorgánicos reportados en la bibliografía con capacidad para la detección de biomoléculas con una sensibilidad de  $20 \text{ nm/RIU}$ . Ahora bien, es un primer paso en el estudio de DFBs como sensores que incluyen resonadores orgánicos en la capa superior y trabajan en una zona de especial interés como el NIR.



**Figura 4.** Capacidad sensora de un DFB de NNR-3. (a) Emisión láser de un sensor DFB expuesto a aire y diferentes líquidos. (b) Corrimiento de la longitud de onda ( $\Delta\lambda$ ) en función del índice de refracción del medio ( $n$ ).

## CONCLUSIONES

En conclusión, la realización de este trabajo ha servido como introducción al mundo de los láseres orgánicos. Los distintos NNRs han sido dispersados en láminas delgadas poliméricas de poliestireno. Además, en los tres materiales se ha medido la presencia de ASE obteniendo unos umbrales realmente bajos y una fotoestabilidad muy alta para los dos NNRs más grandes, que además emiten en el infrarrojo cercano. Para la fabricación de láseres DFB se ha depositado sobre las muestras una película de gelatina dicromatada y se ha grabado la red de relieve mediante litografía holográfica. Los resultados obtenidos para la emisión laser muestran un amplio rango de sintonización y, si bien, la sensibilidad obtenida para el DFB de NNR-3 es inferior a la de otros DFBs inorgánicos, destaca que los umbrales medidos son realmente bajos, especialmente para tratarse de un material que emite en una zona de tanto interés como es el NIR.

## Revolucionando la Realidad Extendida centrada en lo Social y Humano: Descubriendo el Proyecto Europeo SUN

Martín, Xabier A.<sup>(1)</sup>, Li, Yuda<sup>(1)</sup>, Pérez, Elena<sup>(1)</sup>, Juan, Ángel A.<sup>(1)</sup>

(1) Centro de Investigación en Gestión e Ingeniería de Producción (CIGIP), Universitat Politècnica de València, 03801 Alcoi, España, [xamarsol@upv.es](mailto:xamarsol@upv.es), [yli17y@upv.es](mailto:yli17y@upv.es), [elenapb@upv.es](mailto:elenapb@upv.es), [ajuanp@upv.es](mailto:ajuanp@upv.es)

### RESUMEN

El proyecto europeo “Social and hUman ceNtered XR” (SUN) propone investigar y desarrollar soluciones de realidad extendida (XR) que integren de manera convincente el mundo físico y virtual desde una perspectiva humana y social. El mundo virtual se convertirá en un medio para mejorar el mundo físico con nuevas oportunidades de interacción social y humana. Las soluciones se demostrarán en tres escenarios de la vida real, centrándose en la interacción social y la colaboración: XR para la rehabilitación después de sufrir accidentes o enfermedades, XR en la industria para aumentar la seguridad y mejorar la interacción social entre los trabajadores, y XR para eliminar las barreras de interacción para las personas con discapacidades. Los resultados preliminares muestran avances significativos en cada uno de los objetivos planteados, que sientan las bases para el desarrollo y la implementación futura de soluciones XR innovadoras y prometedoras en los diferentes escenarios del proyecto.

**Palabras clave:** realidad extendida, interacción social, rehabilitación, industria, discapacidad.

### INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más digital y en constante evolución, la realidad extendida (XR) se presenta como una herramienta poderosa y revolucionaria para fusionar de manera innovadora el mundo físico y el virtual. El proyecto europeo “Social and hUman ceNtered XR” (SUN) surge con la visión de aprovechar todo el potencial de esta tecnología, explorando nuevas formas de interacción y colaboración con el objetivo de mejorar significativamente la calidad de vida de las personas. El proyecto propone desarrollar soluciones que superen las limitaciones actuales de la tecnología XR, siendo soluciones escalables y rentables, capaces de mezclar de forma convincente el mundo físico y el mundo virtual, permitiendo modelar una interacción humana verosímil, y capaces de superar las limitaciones de recursos de los dispositivos actuales. A través de las soluciones implementadas, buscamos crear nuevas oportunidades para la interacción y colaboración social, demostrando la eficacia de estas soluciones en áreas como la rehabilitación de las personas con lesiones causadas por accidentes o enfermedades, la seguridad laboral o la interacción social de los trabajadores en entornos industriales potencialmente peligrosos y la eliminación de las barreras de interacción de las personas con discapacidades de movilidad y comunicación.

## OBJETIVOS

El proyecto SUN propone convertir el mundo virtual en un medio para mejorar el mundo físico con nuevas oportunidades de interacción social y humana a través de seis objetivos fundamentales.

El primer objetivo es avanzar en la tecnología de adquisición 3D, desarrollando soluciones intuitivas para obtener modelos digitales 3D físicamente convincentes. Los modelos 3D adquiridos incluirán información sobre sus propiedades físicas, así como manipuladores para permitir la vinculación automática con sus contrapartes reales. Además, se ofrecerán soluciones para facilitar la adquisición de nuevos entornos y la creación de nuevas aplicaciones XR.

Otro objetivo es la creación de soluciones para lograr una mezcla realista, plausible, y convincente del mundo físico y virtual en tiempo real, con el fin de mejorar las experiencias de XR. Esto implicará desarrollar soluciones para la colaboración multimodal en XR, soluciones mejoradas con IA para la visualización en XR con recursos limitados, y la creación de avatares hiperrealistas, entre otras iniciativas.

Además, se busca implementar nuevas soluciones de interacción innovadoras para XR, como la interacción basada en la mirada y en el gesto que utilizan tecnologías de visión por computador y sensores portátiles. También se explorará la interacción multimodal y multiusuario mediante interfaces hápticas, así como la creación de interfaces bidireccionales cuerpo-máquina (BBMI) para personas con discapacidad.

Por otro lado, se desarrollará la plataforma SUN XR, una plataforma segura e integrada que permitirá compartir e intercambiar activos digitales mediante Non Fungible Tokens (NFT). La plataforma se utilizará para probar las soluciones desarrolladas en escenarios reales. También se brindará una infraestructura de gestión de datos y contenidos de confianza, fomentando el Espacio Europeo de Datos y los beneficios de protección de datos, atribución, preservación y accesibilidad.

Asimismo, se validarán las soluciones implementadas mediante experimentos en escenarios relevantes, como la rehabilitación, la seguridad laboral y la interacción con personas con discapacidades de movilidad o comunicación. Estos escenarios permitirán medir la eficacia y aceptación de las tecnologías desarrolladas, preparando el terreno para su aplicación más allá del proyecto.

Por último, se propone el objetivo de garantizar el impacto del proyecto, a través de la participación masiva de partes interesadas relevantes y la comunicación adecuada de los resultados del proyecto. Se establecerá un plan de explotación y una hoja de ruta para garantizar la sostenibilidad de las herramientas innovadoras desarrolladas en el marco del proyecto.

## RESULTADOS

El proyecto SUN ha obtenido resultados preliminares significativos en diversas áreas clave, que se han recolectado pasados los primeros seis meses del proyecto. En primer lugar, se ha realizado un exhaustivo análisis del estado del arte de la tecnología XR para cada uno de los tres escenarios del proyecto, lo que ha permitido definir con precisión dichos escenarios y establecer varios casos de uso específicos para evaluar las soluciones XR desarrolladas. Para cada caso de uso, se ha identificado qué operadores, localizaciones y tecnologías XR serán necesarias para llevar a cabo cada caso de uso, sentando las bases para la implementación de las tecnologías XR y evaluación futura de los casos de uso relacionados con cada escenario.

Asimismo, se han llevado a cabo avances en el desarrollo de tecnologías XR clave que son necesarios para los escenarios. Se han explorado y desarrollado soluciones para obtener copias virtuales realistas y convincentes de objetos físicos y entornos 3D [1]. Además, se han realizado investigaciones en la interacción fluida y convincente con los objetos del mundo virtual, utilizando tecnologías como sensores portátiles e interfaces hápticas, para lograr una interacción natural y envolvente con el entorno virtual [2]. De igual manera, se han desarrollado soluciones basadas en inteligencia artificial (IA) para abordar las limitaciones actuales de computacionales, memoria y red de los dispositivos XR portátiles, mejorando así la eficiencia y la calidad de las experiencias XR.

El proyecto también ha dedicado tiempo a investigar y analizar el estado del arte en lo relevante a la tecnología Blockchain y las plataformas o mercados de tokenización [3]. Esto ha permitido desarrollar la especificación la plataforma SUN XR, que será la base para desarrollar la plataforma donde compartir e intercambiar activos digitales en el contexto del proyecto. Asimismo, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de la ciberseguridad en XR, con el objetivo de desarrollar capacidades de detección de incidentes cibernéticos en tiempo real y advertir a los usuarios antes de que estos incidentes se conviertan en problemas de seguridad.

Por último, se ha implementado un sólido plan de diseminación, comunicación y participación para garantizar la difusión adecuada de los resultados del proyecto. Para ello, se ha creado un sitio web dedicado al proyecto SUN para informar sobre los avances y logros que se vayan consiguiendo a lo largo de la duración del proyecto, y se han creado cuentas en diversas redes sociales populares, como LinkedIn, Twitter, Facebook e Instagram, donde se publican noticias y actualizaciones semanales para mantener informadas a las partes interesadas con el fin de promover la visibilidad del proyecto en entornos académicos y sociales.

## CONCLUSIONES

El proyecto SUN está demostrando el potencial de la realidad extendida como una herramienta poderosa para mejorar la interacción social y humana, así como para abordar desafíos los tres escenarios descritos anteriormente. Los resultados preliminares nos han permitido observar que es posible avanzar en el desarrollo de tecnologías XR convincentes, impactando positivamente en la vida de las personas. Además, reconocemos la importancia de la colaboración y la participación de partes interesadas para garantizar

la sostenibilidad y el éxito de nuestras soluciones. Continuaremos trabajando en la aplicación y difusión de las innovaciones a lo largo de la vida del proyecto SUN, con el objetivo de promover la inclusión, la seguridad y el bienestar en la sociedad.

## REFERENCIAS

- [1] Maggiordomo, Andrea; Cignoni Paolo; Tarini, Marco (2023). "Texture Inpainting for Photogrammetric Models ". *Computer Graphics Forum 2023*, <https://doi.org/10.1111/cgf.14735>
- [2] Sedmidubsky, Jan; Carrara, Fabio; Amato, Giuseppe (2023). "SegmentCodeList: Unsupervised Representation Learning for Human Skeleton Data Retrieval". En: *ECIR 2023: Advances in Information Retrieval*, 110–124
- [3] Juan, Angel A.; Perez, Elena; Li, Yuda, Martin, Xabier A; Ammouriova, Majsja; Barrios, Barry B.; (2023). "Tokenized Markets Using Blockchain Technology: Exploring Recent Developments and Opportunities". *Information* 2023, 14(6), 347; <https://doi.org/10.3390/info14060347>

## Propuesta inicial de variables caracterizadoras de desempeño en innovación y cocreación

Gómez Palacios, César <sup>(1)</sup>, Peiró-Signes, Ángel <sup>(2)</sup>, Trull Domínguez, Óscar <sup>(3)</sup>

(1) *Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad, Universitat Politècnica de València, [cegopa@eio.upv.es](mailto:cegopa@eio.upv.es)*

(2) *Departamento de Organización de Empresas, Universitat Politècnica de València, [anpeisg@omp.upv.es](mailto:anpeisg@omp.upv.es)*

(3) *Departamento de Estadística e Investigación Operativa Aplicadas y Calidad, Universitat Politècnica de València, [otrull@eio.upv.es](mailto:otrull@eio.upv.es)*

### RESUMEN

Actualmente se observa una evolución acelerada en la mayoría de los mercados y sectores. La proactividad para el cambio siempre ha sido fundamental para que cualquier organización sobreviva. La cocreación es una estrategia empresarial de innovación para alcanzar la excelencia en la creación y mejora de productos y servicios mediante la innovación colaborativa que involucra a los interesados, especialmente a los clientes. El objetivo es producir el mayor valor añadido posible para el mercado objetivo, compartiendo y coordinando necesidades, capacidades, conocimiento y capacidad con el cliente. ¿Qué rasgos medibles de una organización se relacionan mejor con la cocreación y la innovación? ¿Estas relaciones permiten identificar negocios mejor posicionados para el éxito y priorizar ciertas actividades para un mejor rendimiento? El estudio propone diferentes variables empresariales relacionadas con la innovación y la cocreación, ya sea como causas o efectos (inputs y outputs). Los sectores de nuevas tecnologías, software y hardware, así como aquellos presentes en mercados de productos físicos de ciclo corto, se relacionan con la cocreación. Los negocios en actividades relacionadas con servicios también muestran esta relación. Las entidades multisectoriales pueden tener un mejor desempeño que aquellas presentes en un único sector de actividad. Las entidades públicas tienen un menor enfoque a rentabilidad y resultados, pero, aunque por ello son menos propensas a la innovación o cocreación también pueden ofrecer oportunidades claras de mejora.

**Palabras clave:** Innovación, cocreación, variables, factores, creación de productos, creación de servicios, mejora de la cadena de valor, necesidades del cliente.

### INTRODUCCIÓN

El marco en el que las empresas operan cambia más rápidamente que en el pasado debido a varios factores, entre otros: la situación ambiental, la Inteligencia Artificial General (AGI) con los datos empleados en su entrenamiento, la fluctuación globalizada de los mercados, incluyendo el de energía y materiales, así como cierta agitación geopolítica presente. Estos cambios acelerados, después de años de mayor estabilidad, intensifican la competencia y la necesidad de una rápida evolución de todas las entidades para su supervivencia. Los cambios deben constituir lógicamente una adaptación y la innovación es más que nunca una de las facetas clave para mejorar los cambios organizativos, los productos y los servicios. Como siempre, un pilar fundamental de la innovación será incrementar el valor añadido, hacer crecer la cadena de valor de los stakeholders. Y entre ellos, satisfacer las necesidades del cliente deben ser el objetivo fundamental y la mejor guía para añadir dicho valor añadido y obtener el

retorno que garantiza el éxito y la supervivencia. Para ello es necesario centrar los procesos de creación, mejora y desarrollo de producto en procesos de cocreación, con una innovación colaborativa centrada en el cliente. La innovación colaborativa con otras empresas del sector también puede contribuir a mejoras beneficiosas del producto o servicio, y conocimiento y procesos de la organización.

## HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Disponer de una herramienta para la predicción del rendimiento en innovación esperado, de cualquier empresa o entidad, sin duda sería un gran activo. La hipótesis de este estudio es que existen ciertas características de entrada y salida que están relacionadas con la innovación y la cocreación dentro de las empresas. El objetivo de este estudio es identificar dichas características de entrada y salida que conceptualmente se relacionen con la innovación y la cocreación como un primer paso fundamental. Estudiar la naturaleza de las relaciones entre estas variables de entrada y salida es otro paso en el camino hacia la obtención de un modelo predictivo.

## RESULTADOS

Se exponen los resultados, seleccionados a partir de un enfoque sistemático simple, identificando 10 artículos relevantes, 7 de ellos buscados en la base de datos de Web of Science y 3 adicionales que se consideraron relevantes. Limitamos las cadenas de búsqueda en la base de datos del portal "Web of Science" a lo siguiente: TI=(((factor\*) OR (variable\*)) AND ((co-creat\*)OR(cocreat\*)OR(innova\*))), utilizando asteriscos al final de las palabras para buscar diferentes terminaciones. Además, no se establecieron restricciones de fecha ni de país de publicación. Se pueden considerar como pilares fundamentales de los sistemas de innovación en las empresas el conocimiento, la tecnología y las interacciones, siendo los dos primeros los componentes básicos de la innovación. El nivel de conocimiento interno afecta directamente a la capacidad inventiva, así como al desarrollo de una invención desde su concepción hasta el lanzamiento del producto. La gestión del conocimiento es cada vez más importante, relacionada también con un elemento tecnológico clave a dos niveles: los poderosos algoritmos de IA. Tanto los ya establecidos como modelos predictivos a partir de big data, como los más recientes algoritmos de AGI con superiores capacidades. Un estudio con una muestra de más de 6000 empresas manufactureras de la Encuesta Española de Innovación Tecnológica 2000 establece que las competencias tecnológicas internas de investigación y desarrollo desempeñan un papel principal en la innovación de productos y que, con competencias sólidas en este ámbito, los agentes no pertenecientes a la industria derivados de oportunidades tecnológicas afectan menos a la innovación. Aunque otro estudio tiene un alcance limitado a industrias de alta tasa de innovación, indica que el análisis de los factores organizativos que influyen en las prácticas de conocimiento y la innovación muestra que los siguientes factores: recursos humanos, liderazgo y cultura, cuando están centrados en el conocimiento, aumentarán la explotación de la capacidad de innovación de la empresa. En la misma línea de énfasis en los procesos internos, un estudio sobre la innovación de productos y la influencia de los factores y capacidades de procesos organizacionales en el rendimiento del desarrollo, muestra que los factores asociados a procesos organizacionales de innovación y desarrollo de producto están asociados con el logro de objetivos operativos para la calidad del producto, el coste unitario y el tiempo de lanzamiento al mercado. Un estudio sobre datos de empresas automotrices españolas mostró que aquellas que

innovan confían más en la información. Además, las empresas que consideran fuentes de información del mercado, como clientes, proveedores, competidores y otras fuentes externas, como importantes en el proceso de innovación y desarrollo de nuevos productos y mercados, también están más orientadas hacia el medio ambiente. Un estudio con la Encuesta de Innovación en Empresas PITEC muestra que el tamaño de la empresa y del mercado, la actividad innovadora formal (reflejada por el número de patentes registradas) y el gasto total en adquisición de tecnología influyen en la orientación eco-innovadora de las empresas. Aunque no es indispensable disponer de gran cantidad de fondos, es innegable que la innovación requiere asumir riesgos, ya que los recursos se dedican sin que siempre haya un resultado con retorno positivo garantizado. Es este motivo, las empresas sin recursos financieros tienen mayores dificultades para innovar. Además, la innovación es una actividad compleja que requiere aparte de recursos, una gestión, así que el tamaño de la empresa también afectará, excepto en mercados emergentes o nuevas tecnologías, donde las empresas pequeñas, pioneras y las primeras en llegar tienen un aumento natural en innovación. Del mismo modo, el tamaño del presupuesto en áreas específicas como el diseño y la investigación y desarrollo o el tamaño relativo respecto a los ingresos, será indicativo del esfuerzo y el compromiso de las empresas. Este esfuerzo sostenido debería favorecer la obtención de resultados de innovación y cocreación. Los ciclos económicos afectan los presupuestos, por lo que también deberían afectar la innovación y la cocreación. Un artículo analiza factores internos y en él se mencionan los siguientes como relevantes: tamaño, deuda, recursos humanos, recursos organizativos y comerciales, diversificación e internacionalización. Aunque la globalización y las tecnologías que permiten el trabajo no presencial han disminuido su influencia, la localización de la empresa aún desempeña un papel importante. El conocimiento externo a la entidad y las dinámicas de innovación están fuertemente influenciados por las políticas gubernamentales locales, las instituciones públicas, las instituciones educativas, las infraestructuras tecnológicas existentes y el marco legal. Todo esto puede impulsar o dificultar los esfuerzos de innovación. Las universidades y otras entidades educativas proporcionan el conocimiento inicial de la fuerza laboral presente en la zona. Además, las organizaciones con cultura fuerte de innovación tienden a agruparse. Cuando esto sucede, la innovación y la cooperación se benefician de dinámicas como por ejemplo la disponibilidad de otras empresas depositarias de gran conocimiento interno y know how (ya sean proveedores, clientes o competencia), o también la densidad y disponibilidad de personal altamente capacitado. Las áreas económicas e industriales fuertes, donde las corporaciones impulsan a los proveedores hacia la cocreación, no solo a nivel de componentes, sino también de arquitecturas, son frecuentemente fuentes sectoriales de innovación. La industria automotriz es un ejemplo clásico de esto. Una investigación meta analítica sobre el éxito de nuevos productos, indica que las culturas locales afectan a los factores de éxito, debilitándolos en países individualistas y fortaleciéndolos en países aversos al riesgo. Además, trabajar en contextos culturales variados dará lugar a diferentes antecedentes de empresas exitosas en nuevos productos. La diversidad económica, de actividad y social favorece la innovación, ya que además de intereses similares, también convergen intereses diferentes en un mismo lugar. La mezcla de conocimientos y el mestizaje de ideas, el aprendizaje y la aplicación de aspectos positivos de otras actividades son más propensos a ocurrir en estas áreas que en entornos homogéneos. El resultado es un lugar origen de innovación y una posterior traslación más fácil de ideas diferentes en nuevos productos y servicios. Estas condiciones ocurren en o cerca de áreas urbanas. La diversidad de conocimiento en las entidades multisectoriales puede aportar un mejor rendimiento en innovación que aquellas que operan en un único sector de actividad. Otro artículo afirma que los factores de éxito se dividen en dos categorías. La primera

es la selección adecuada de nuevos proyectos de productos. Esto indica la importancia del conocimiento del mercado, es decir, el departamento de marketing. La segunda categoría incluye factores relacionados con la ejecución adecuada de los proyectos. Esto incluye la definición inicial completa y temprana del producto, el seguimiento de las necesidades del cliente, proyectos bien planificados y con recursos adecuados, equipos multifuncionales capaces con líderes fuertes e investigación global y multi mercado. Curiosamente, la falta de esfuerzos en estos factores los convierte en "barreras" del proceso de innovación y desarrollo. Cuando se trata de mercados que experimentan cambios rápidos o aquellos en los que el producto cambia rápidamente debido al rápido avance tecnológico están dominados por empresas centradas en la innovación. De no ser así, no sobreviven a la rápida evolución. Los negocios de software y tecnología, así como los mercados de productos de ciclo corto, son un ejemplo de esto. La naturaleza del producto afectará el resultado de la innovación. La creación o mejora de servicios, por naturaleza se apoyan más en la actividad de cocreación. Por su propia naturaleza, su diseño se adapta a las necesidades del cliente más que los productos físicos, que tienen mayor cantidad de restricciones de diseño. En cuanto a los productos, las estrategias basadas en la producción a gran escala o bajo coste pueden generar resultados de innovación diferentes a las estrategias basadas en productos personalizados, nuevos o de alta calidad. El conocimiento del mercado, leyes y regulaciones, así como la colaboración interna funcional (interacción interna), aprendizaje orientado a la innovación e inversión en I+D, se consideran en un artículo los cuatro factores fundamentales para la innovación de producto ecosostenible. Las actividades públicas son menos proactivas en cuanto a la mejora de productos y servicios, pues normalmente no tienen competencia y su existencia no está vinculada al rendimiento o satisfacción del cliente. En consecuencia, son menos propensas a la cocreación y la innovación, pero por otro lado pueden presentar oportunidades claras y fáciles de mejora a través de ellas. Como resultados que podrían medir el retorno de la cocreación y la innovación, se encuentran las ganancias en cuota de mercado, así como en nuevos mercados. Los nuevos productos lanzados con éxito al mercado también podrían ser indicadores importantes a los cuales probablemente contribuyeron. Idealmente, deberían poderse vincular a proyectos específicos.

## CONCLUSIONES

Datos de calidad (pérdidas por desecho de producto, índices de satisfacción del cliente...), datos de tiempo de lanzamiento al mercado de producto, diversidad de productos en diferentes mercados y diversidad de actividad geográfica (número de países), datos de crecimiento de nuevos productos (número de productos, ingresos...), datos de ganancia de cuota de mercado en nuevos mercados (número de nuevos mercados o países, con ingresos significativos, crecimiento total de ingresos en mercados con proyectos de innovación), datos de ecoeficiencia (cuando coinciden proyectos con objetivos de eco innovación): datos de evolución de la huella de carbono, datos de evolución del reciclaje de materiales, datos de evolución de energía renovable empleado o generada, datos de evolución de la generación y gestión de residuos peligrosos y no peligrosos. Como outputs intangibles (o difícilmente medibles) cabe destacar, a partir de la cocreación la generación de satisfacción y compromiso y lealtad obligadas entre las empresas y los clientes. La puesta en común de conocimiento, procesos creativos y de desarrollo e intereses exige una apertura y compromiso que obliga a su explotación a medio – largo plazo. Un artículo sobre enseñanza superior, indica la existencia de estas relaciones, y confirma importancia del estudiante (como cliente) en el proceso educativo.

## La industria 4.0 en economías emergentes desde la perspectiva del *management*: revisión de la literatura y definición de líneas futuras de investigación.

**Maldonado-Gómez, Gabriel<sup>(1)</sup>, Tomás-Miquel, José-Vicente<sup>(2)</sup>**

(1) P.E. de la Licenciatura en Administración, TecNM- Campus Instituto Tecnológico Superior del Oriente del Estado de Hidalgo, Carr. Apan-Tepeapulco Km. 0.5, Col. Las Peñitas, 43900 Apan, Hidalgo, México, [gmaldonado@itesa.edu.mx](mailto:gmaldonado@itesa.edu.mx)

(2) Departamento de Organización de Empresas, Universitat Politècnica de Valencia Plaza Ferrándiz y Carbonell, s/n, 03801 Alcoy, Alicante, [jotomi@doe.upv.es](mailto:jotomi@doe.upv.es)

### RESUMEN

El fenómeno de la Industria 4.0 ha atraído la atención de numerosos académicos y profesionales en los últimos años. Si bien, la integración de tecnologías 4.0 en los países desarrollados se está realizando con agilidad, debido a la disposición en estos de los recursos necesarios que facilitan este proceso, en las economías emergentes esta transición todavía es limitada, requiriendo de un mayor esfuerzo tanto desde la academia como de los diferentes agentes empresariales e institucionales. Con el objeto de contribuir en este proceso, el presente trabajo tiene por objetivo realizar un estudio de la literatura sobre el fenómeno de la Industria 4.0 en economías emergentes desde la perspectiva del *management* con una doble intención. Por un lado, conocer las diferentes líneas de investigación abordadas hasta el momento por la literatura y, por otro, plantear líneas de investigación futuras que aporten conocimiento para acelerar la implantación de la Industria 4.0 en estos países. Los resultados de esta investigación pueden tener implicaciones relevantes tanto para las empresas como para los encargados de establecer las diferentes políticas industriales en estas regiones.

**Palabras clave:** Industria 4.0, economías emergentes, management, análisis de la literatura, *bibliographic coupling*.

**Agradecimientos:** Los autores reconocen la ayuda financiera prestada por el proyecto PID2021-126516NB-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE.

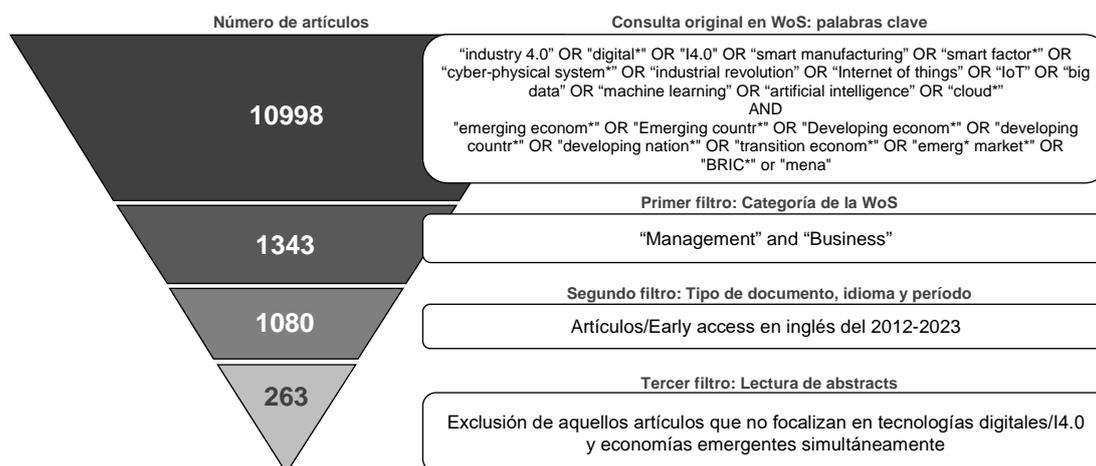
### INTRODUCCIÓN

La Industria 4.0 (en adelante, I4.0) se refiere a la integración de objetos, personas, máquinas inteligentes, líneas de producción y procesos en el interior y exterior de la organización, con la finalidad de compartir información en tiempo real para la toma de decisiones, mejorar la productividad y facilitar el uso eficiente de los recursos organizacionales. La I4.0 está asociada a un considerable número de tecnologías como el *cloud computing* (CC), *internet of things* (IoT), *big data análisis* (BDA), Inteligencia Artificial (IA) y aprendizaje automatizado, entre otras. Si bien el estudio de la inserción de la I4.0 en los países desarrollados ha recibido una enorme atención en los últimos años, su aplicación en economías emergentes (EE) es todavía escaso en la literatura académica actual. Las EE hacen referencia a aquellos países que, sin alcanzar las cotas de progreso de los países desarrollados, presentan crecimientos sostenidos en múltiples variables macroeconómicas, lo cual se refleja en mayores oportunidades de acceso a los mercados extranjeros y, consecuentemente, en una mejora en la calidad

de vida de sus habitantes. En el caso de las economías desarrolladas, la integración de tecnologías 4.0 se está realizando con agilidad, debido a la disposición de los recursos necesarios que facilitan este proceso, además de que estos países son pioneros en el desarrollo de estas herramientas. Para las empresas de EE, aún la mayoría en fases iniciales de implantación, la I4.0 presenta enormes oportunidades de cara a mejorar su situación competitiva en los mercados internacionales.

## OBJETIVOS

El propósito de este trabajo es llevar a cabo un análisis de la literatura utilizando la técnica del *bibliographic coupling* en relación al fenómeno de la Industria 4.0 en contextos de economías emergentes desde la perspectiva del *management*. De esta manera, se busca comprender las diversas áreas de investigación que han sido abordadas hasta la fecha en la literatura y plantear posibles líneas de investigación futuras que contribuyan a acelerar la implementación de estas tecnologías en dichos países. La Figura 1 detalla el proceso de selección de los artículos de investigación obtenidos a partir de la base de datos científica del Web of Science (WoS) Core Collection.



**Figura 1.** Detalle del proceso de selección de los artículos de la investigación

Tras el proceso anterior se obtuvieron un total de 263 artículos, los cuales pasaron a conformar el cuerpo de la literatura a analizar. La técnica del *bibliographic coupling* parte del supuesto de que es probable que los artículos que posean muchas referencias en común, aborden temas similares. De esta manera, se busca identificar los frentes de investigación recientes. El hecho de que la literatura sobre I4.0 y EE sea muy reciente (Figura 2), motivó la elección de esta herramienta. El número de referencias comunes entre dos artículos determina la fortaleza del *bibliographic coupling*. A través del software BibExcel, se obtuvo la matriz con los valores de estas referencias comunes para cada par de artículos. En este proceso, se fijó el número mínimo de referencias en común en seis, con el objeto de dar solidez al análisis. Por la misma razón, se descartaron aquellos artículos que sólo estaban conectados con un único trabajo de la literatura analizada. La realización de este proceso produjo la reducción del cuerpo de la literatura de 263 a 91 artículos. Finalmente, aplicando el algoritmo de Louvain mediante el software UCINET, se agruparon los artículos en clusters para su revisión e interpretación.

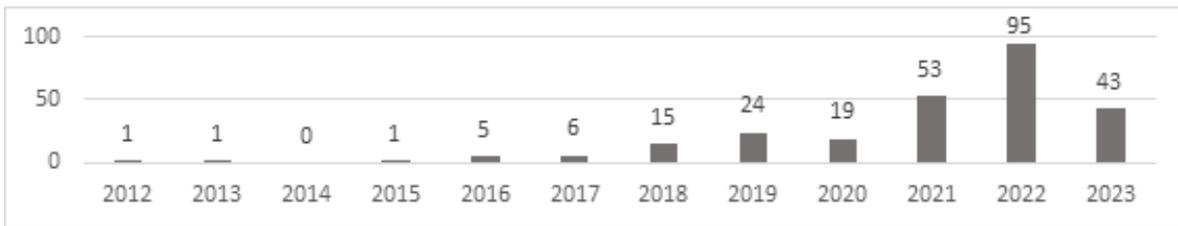


Figura 2. Evolución temporal de los artículos del cuerpo de la literatura analizado

**RESULTADOS**

El análisis cluster arrojó un total de cinco agrupaciones principales. Se descartó uno de los clusters formado por 5 trabajos por estar desconectado del resto de la literatura. Los cuatro clusters finalmente seleccionados pueden vincularse a cuatro corrientes bibliográficas que constituyen el dominio del área de investigación I4.0 en EE (Figura 3). El estudio del contenido de los artículos nos permite comprender las particularidades de cada corriente bibliográfica e identificar el tema principal: (a) implementación de I4.0 en EE (39 artículos); (b) factores que influyen en la implementación de tecnologías I4.0 en EE (24 artículos); (c) *big data analytics* y EE (19 artículos); y (d) influencia de las tecnologías I4.0 en la internacionalización de las empresas en EE (4 artículos).

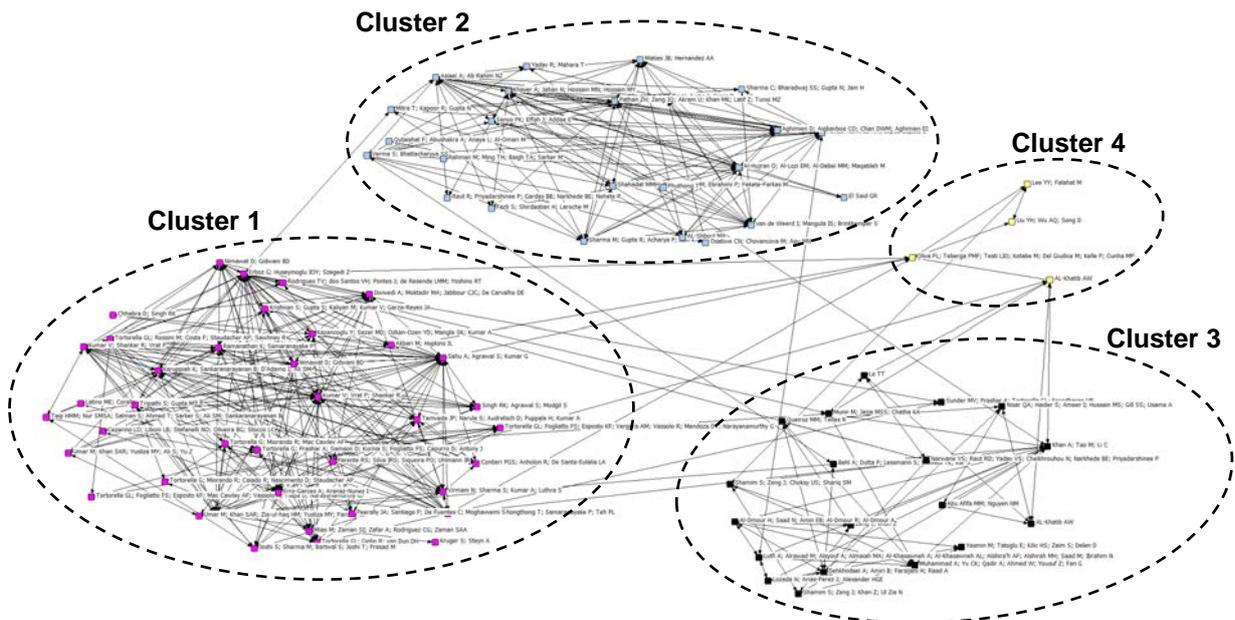


Figura 3. Resultados del estudio basado en *bibliographic coupling* y análisis cluster (Louvain)

Cluster 1: implementación de I4.0 en EE

Este primer cluster reúne el mayor número de artículos del análisis y tiene un carácter más genérico que los otros clusters identificados. En este sentido, contiene contribuciones que abordan el concepto de I4.0 en un sentido amplio, abarcando tanto desde un punto de vista teórico como práctico, las diferentes implicaciones de este fenómeno en contextos de EE. Más concretamente, en este cluster se han identificado las siguientes líneas de investigación vinculadas a la I4.0: (a) Factores que influyen en la implementación de la I4.0 en EE (18 artículos); (b) Barreras a la implementación de la I4.0 en EE (8 artículos); (c) Impacto de la I4.0 en diferentes áreas de la empresa o

desempeño en EE (8 artículos); (d) Preparación para la I4.0 en empresas de EE (2 artículos); y (e) Integración de la I4.0 con otros temas en EE, como la economía circular (3 artículos).

#### Cluster 2: factores que influyen en la implementación de tecnologías I4.0 en EE

Las contribuciones pertenecientes al cluster 2 se centran en la aplicación de modelos que analizan los factores que influyen en la implantación de tecnologías I4.0 específicas en contextos de EE, como la computación en nube, el comercio electrónico o la robótica. La literatura de este cluster se posiciona en torno a los principales modelos que han abordado los factores subyacentes a la implantación de las TIC en las empresas, como el marco de tecnología, organización y entorno (TOE) y la teoría de la difusión de la innovación (DOI).

#### Cluster 3: big data analytics y EE

El tercer cluster de artículos concentra estudios relacionados con el *big data analysis*. En concreto, analiza tanto los factores que influyen en la adopción del BDA en EE, así como la influencia de la adopción del BDA en diversos indicadores o factores como la sostenibilidad, el rendimiento financiero y la gestión de las cadenas de suministro.

#### Cluster 4: influencia de las tecnologías I4.0 en la internacionalización en EE

El último cluster se ocupa de la conexión entre las tecnologías I4.0 y la internacionalización de las empresas en contextos de EE. La percepción es que los diferentes autores están de acuerdo en los beneficios que las tecnologías I4.0 aportan a los procesos de internacionalización. Sin embargo, todos coinciden en que esta influencia no es directa, sino mediada a través de capacidades como la innovación, el marketing o las habilidades de aprendizaje.

#### Líneas futuras de investigación en el área de investigación de la I4.0 en EE

A partir del análisis de la literatura anterior se derivan un conjunto de líneas futuras de investigación que abordan los diferentes vacíos de investigación detectados en el cuerpo bibliográfico analizado.

## **CONCLUSIONES**

El presente trabajo ha tenido por objeto el análisis de la literatura sobre I4.0 en EE desde la perspectiva de la gestión de empresas. Los resultados obtenidos han permitido identificar las principales líneas de investigación desarrolladas hasta el momento en esta área, destacando la amplia atención que ha recibido la misma en estos últimos tres años, especialmente después del primer año de la pandemia de COVID-19, los cuales han concentrado más del 70% de total de publicaciones. Este hecho demuestra la actualidad del tema bajo análisis, invitando a seguir profundizando sobre el mismo. Por otra parte, el análisis de la literatura ha posibilitado también identificar múltiples líneas de investigación futuras para cada uno de los clusters de conocimiento identificados. La I4.0 puede tener un impacto significativo en las EE en forma de una mejora de la productividad y un aumento de la capacidad innovadora de sus empresas. Esto, a su vez, puede facilitar la creación de empleo cualificado y una mejora de la calidad de vida de los habitantes de estas regiones. Por ello, las conclusiones obtenidas en este trabajo pueden tener amplias repercusiones, tanto en el ámbito académico como en el ámbito de la política industrial.

---

## **LISTADO DE PARTICIPANTES**

---



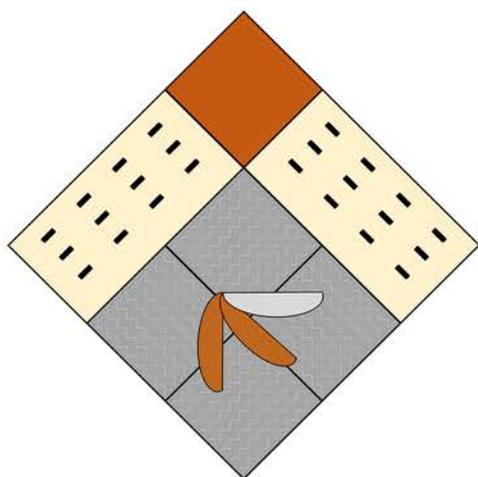
**Listado de autores****Páginas**

Agud Albesa, L.	157				
Agüero, A.	287				
Arrieta, M. P	243	287			
Belda-Anaya, R.	73	77	81	93	
Blanes Nadal, C. R.	149				
Bonet-Aracil, M.	113				
Bou-Belda, .	73	81	85	247	263
Calvo, O.	195	199			
Cantó, B.	53				
Cappelli, L.	195				
De la Rosa Ramirez, H.	3	191	219		
Díaz-García, P.	77	81	85	97	
Díaz García, M. A.	301				
Díez-Martínez, I.	145				
Dijkstran-Martín, D.	117	301			
Dominguez-Candela, I.	13	17	21		
Eixerés Tomás, B.	101	125	231	255	259
Esplugues, S.	33	165			
Farrando-Pérez, A.	117	301			
Ferri-Molla, I.	109				
Frando, E.	207	239			
García Carrasco, S.	101	165	231	259	279 283
Garrido Saez, N.	157				
Gazquez-Navarro, J. J.	133	137			
Giménez-Palacios, I.	169				
Gisbert-Payá, J. 7	3	97	247		
Gómez Palacios, C.	251	309			
Gómez Tejedor, J. A.	223	291			
Jiménez-Puerto, J.	41				
Jordán-Núñez, J.	129	263	267	271	
Jover-Peris, V.	173				
Juan, A. A.	305				
Juliá Sanchis, E.	183				
Karpova, J.	65				
Lerma-Canto, A.	17	29			
Li, Y.	305				
Llidó Barragán, Ll.	125	215	279	283	
Llorca Alcón, M.	121				
Llorens Payá, A.	157				
López Borell, A.	21	25	37		
López Pérez, M. F.	21	25	37		
López-Ricart, M.	85				
López-Rodríguez, D.	129	263	267	271	
Maldonado-Gómez, G.	313				
Martón-Cabezuelo, R.	223	291			
Martín-Solano, X. A.	89	305			
Martinez Iborra, J. E.	125	255	259	279	

Martínez-Marco, P.	165			
Micó Vicent, B.	129	263	267	271
Mínguez-García, D.	81	85	97	
Miranda, M.	33	235		
Molina-Picó, A.	89			
Moncho Santonia, M.	129			
Montava-Jordá, S.	101	161	259	
Montava-Seguí, I.	77	93	97	113
Oltra Crespo, S.	89	157		
Orero-Blat, M.	45			
Ortuño-Molina, S.	105			
Parres García, M. A.	161	283		
Pawlak, F.	275			
Peiró Signes, A.	49	145	251	309
Pellicer, T.	69			
Pérez, E.	305			
Pérez-Nakai, A.	29			
Peris Fajarnes, G.	129	267		
Peydró Rasero, M. A.	101	161	231	283
Ponce, D.	203			
Reig Valor, M. J.	37	187		
Rozas Martínez, J.	37	187		
Salas-Molinas, F.	57			
Samper Madrigal, M. D.	3	191	219	243
Sánchez-Caballero, S.	125	161	231	255
Sanz Buades, V.	211			
Seguí-Pons, Mauro	21	33	227	
Sellés Cantó, M. A.	125	161	259	
Sempere Torregrosa, J.	191	219	243	
Sepúlveda, J. A.	287			
Soriano-González, R.	141	177		
Tejada-Oliveros, R.	133			
Tomás-Miquel, J. V.	313			
Tovar-Alarcón, J. A.	215			
Trull Domínguez, O.	41	49	251	309
Tsertsvadze, V.	141			
Unamuno-Garay, A.	33	227		
Valdivieso-Uvidia, J. M.	61			
Vallada, E.	65	153	169	
Villa, F.	65	153	169	

# Campus d'Alcoi

## Creando Sinergias



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI