

X JORNADAS CÁTEDRA ACERINOX
MARZO 2023



FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS POLIMÉRICOS CON RESIDUOS INDUSTRIALES

SERGIO I. MOLINA

Catedrático de Universidad. Investigador Responsable del Grupo INNANOMAT.
FACULTAD DE CIENCIAS. INSTITUTO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA Y
MATERIALES (IMEYMAT). UNIVERSIDAD DE CÁDIZ.

ÍNDICE

1

Valorización de residuos en compuestos poliméricos

2

Tecnologías de fabricación aditiva utilizadas

3

Aprovechamiento de residuos de corcho natural: Proyecto ADICORK

4

Aprovechamiento de otros residuos en fabricación aditiva

5

Conclusiones





LEY 7/2022, DE RESIDUOS Y SUELOS CONTAMINADOS



LEGISLACIÓN CONSOLIDADA

TIPOS DE RESIDUOS

Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular.

Jefatura del Estado
«BOE» núm. 85, de 09 de abril de 2022
Referencia: BOE-A-2022-5809



VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS



TIPOS DE RESIDUOS

LISTA EUROPEA DE RESIDUOS (LER) (TOMADOS DEL DOEU)

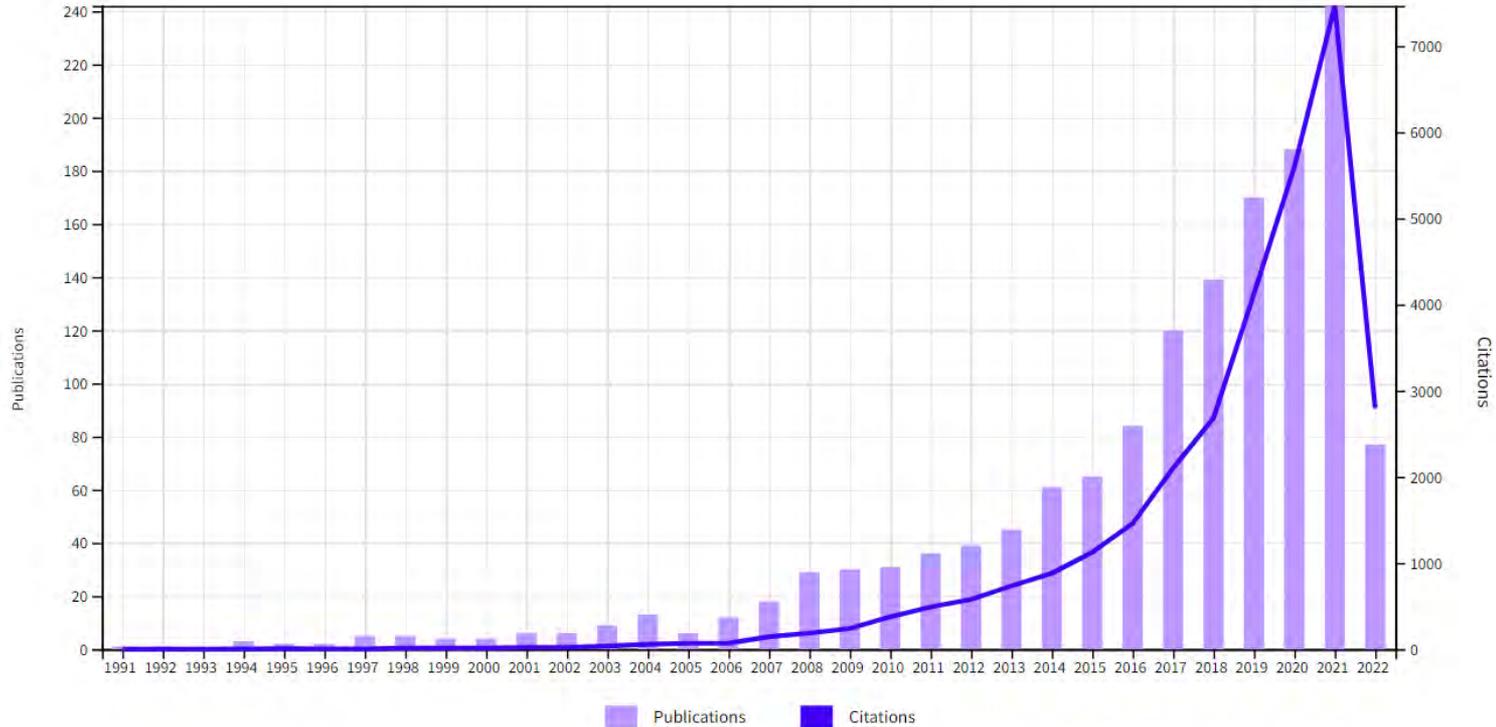
01	Residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de minerales
02	Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos
03	Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles, pasta de papel, papel y cartón
04	Residuos de las industrias del cuero, de la piel y textil
05	Residuos del refinado de petróleo, purificación del gas natural y tratamiento pirolítico del carbón
06	Residuos de procesos químicos inorgánicos
07	Residuos de procesos químicos orgánicos
08	Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización (FFDU) de revestimientos (pinturas, barnices y esmaltes vítreos), adhesivos, sellantes y tintas de impresión
09	Residuos de la industria fotográfica
10	Residuos de procesos térmicos

11	Residuos del tratamiento químico de superficie y del recubrimiento de metales y otros materiales; residuos de la hidrometalurgia no férrea
12	Residuos del moldeado y tratamiento físico y mecánico de superficie de metales y plásticos
13	Residuos de aceites y de combustibles líquidos (excepto los aceites comestibles y los de los capítulos 05 y 12)
14	Residuos de disolventes, refrigerantes y propelentes orgánicos (excepto los capítulos 07 y 08)
15	Residuos de envases; absorbentes, trapos de limpieza, materiales de filtración y ropas de protección no especificados en otra categoría
16	Residuos no especificados en otro capítulo de la lista
17	Residuos de la construcción y demolición (incluida la tierra excavada de zonas contaminadas)
18	Residuos de servicios médicos o veterinarios o de investigación asociada (salvo los residuos de cocina y de restaurante no procedentes directamente de la prestación de cuidados sanitarios)
19	Residuos de las instalaciones para el tratamiento de residuos, de las plantas externas de depuración de aguas residuales y de la preparación de agua para consumo humano y de agua para uso industrial
20	Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones), incluidas las fracciones recogidas selectivamente

VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS



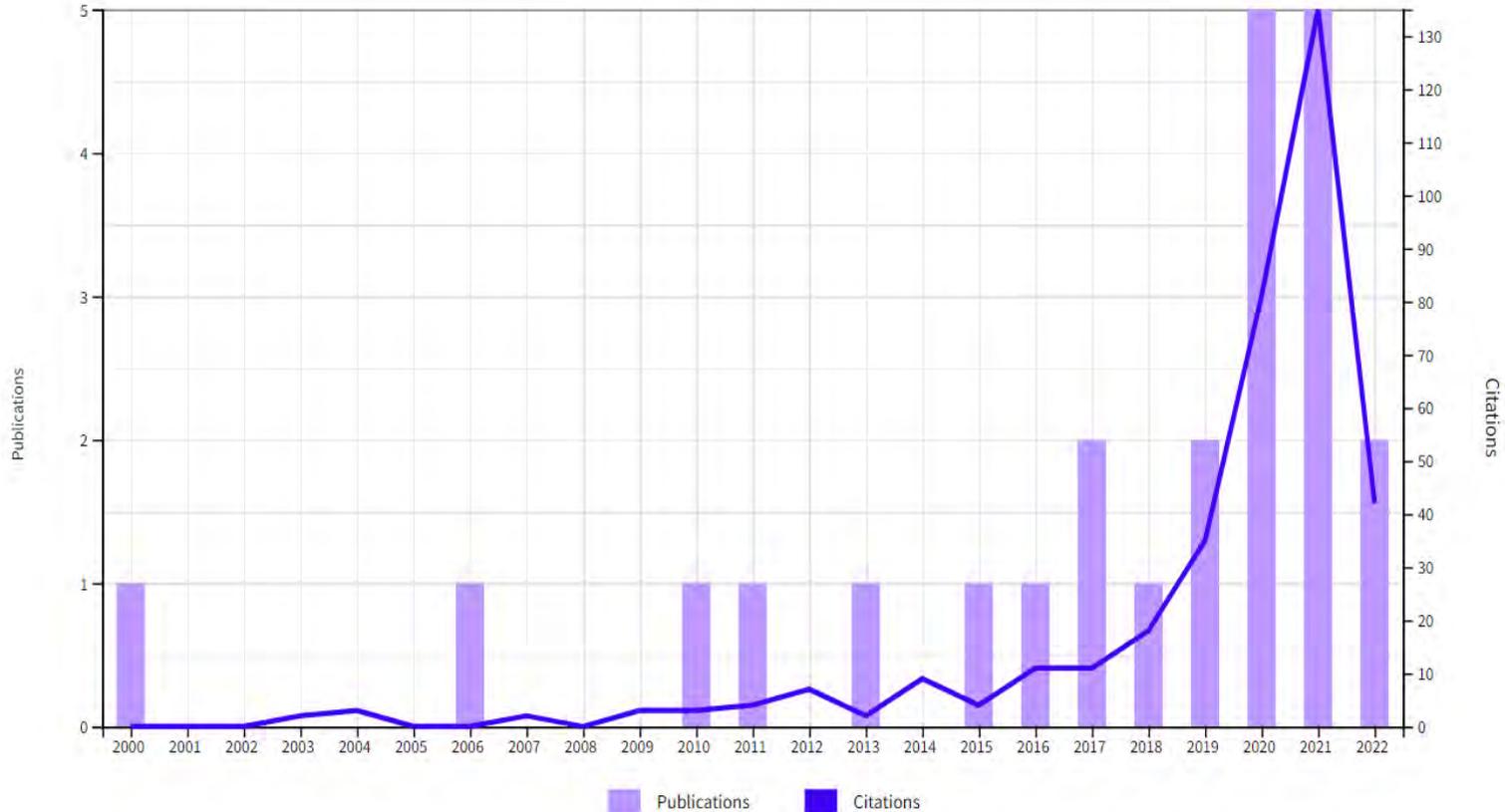
- RESIDUES / WASTE
- POLYMERIC COMPOSITES



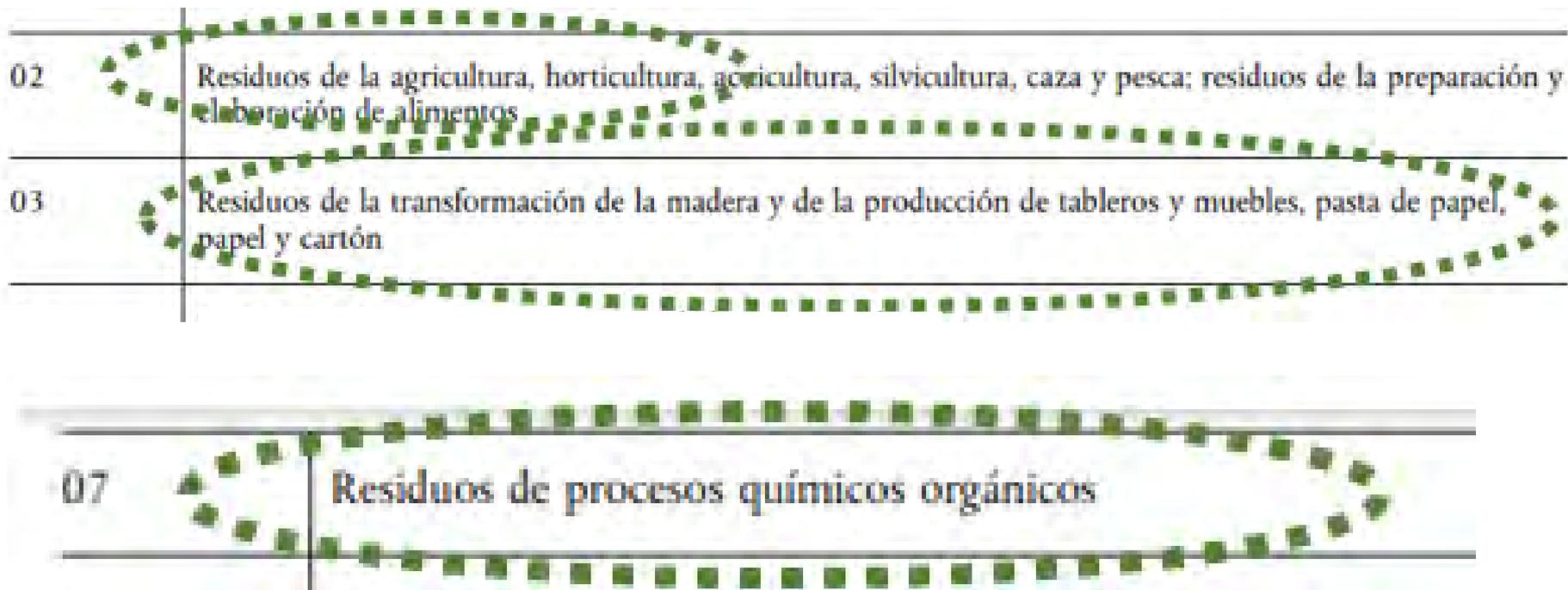
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS



- RESIDUES / WASTE
- POLYMERIC COMPOSITES
- ADDITIVE MANUFACTURING / 3D PRINTING



VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS





CARBOCAL



- **GENERADO EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE AZÚCAR A PARTIR DE REMOLACHA**
- **COMPOSICIÓN: > 80% CaCO_3
7% MATERIA ORGÁNICA
OLIGOELEMENTOS (N, K_2O , P_2O_5 , MG)
ÁCIDOS ORGÁNICOS**
- **HUMEDAD: < 35%**
- **PRODUCCIÓN: > 20.000 TON/AÑO**

A SUGAR-BEET WASTE BASED THERMOPLASTIC AGRO-COMPOSITE AS SUBSTITUTE FOR RAW MATERIALS

JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 257 (2020) 120382:1-12



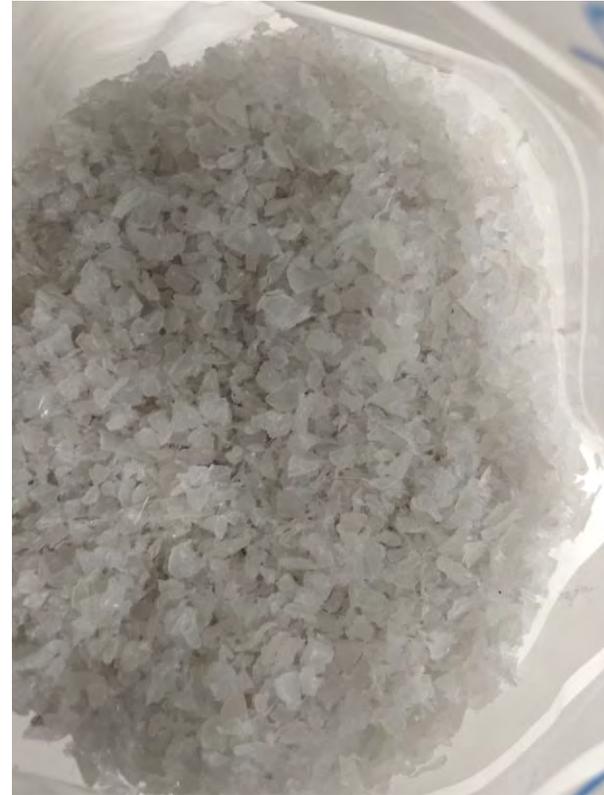
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS



LLDPE



LLDPE RECICLADO



VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS



COMPOSITE

LLDPE

+

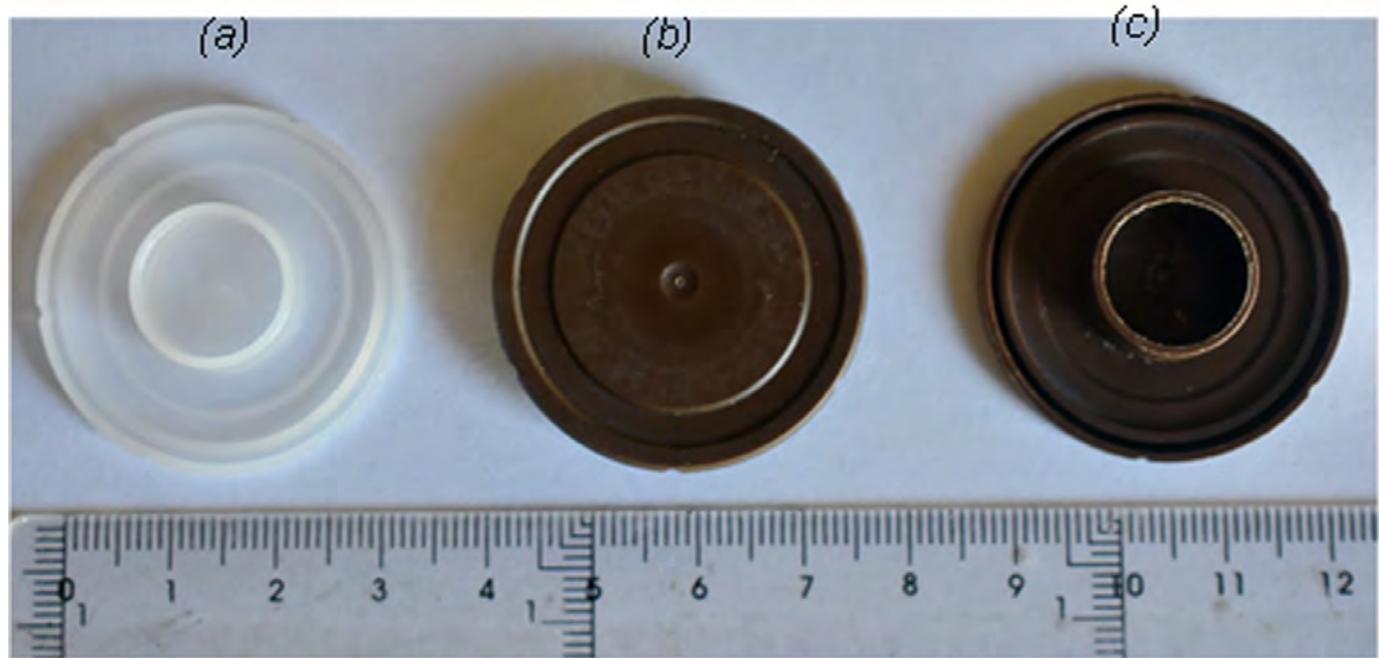
CARBOCAL: 20, 30, 40, 50%



VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS



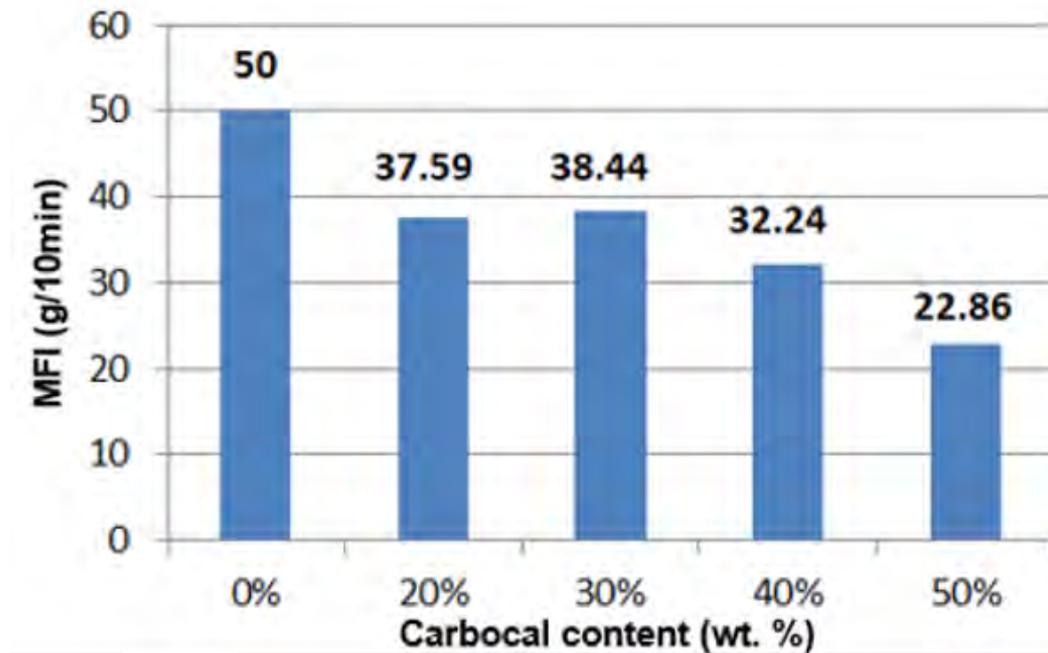
PROTOTIPOS



LLDPE PURO

LLDPE +50%CARBOCAL

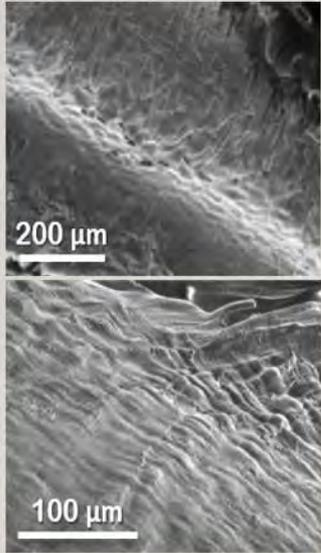
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS



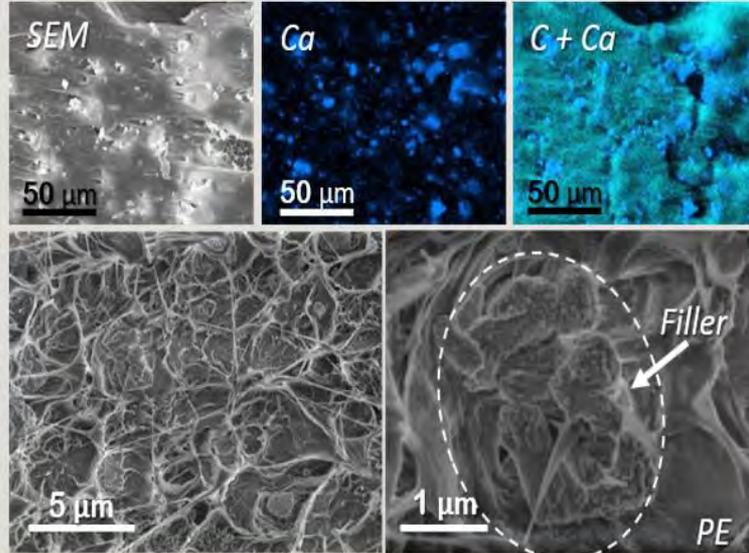
VALORIZACIÓN DE RESIDUOS EN COMPUESTOS POLIMÉRICOS



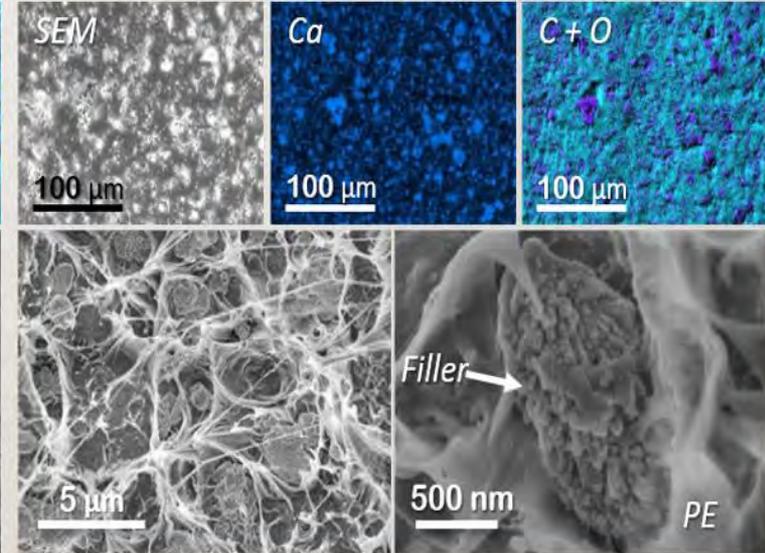
(a) LLDPE



(b) LLDPE + 20% CB



(c) LLDPE + 50% CB



TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA UTILIZADAS



PROCESOS DE FABRICACIÓN ADITIVA

Process Type	Technique Definition	Example Technology	Material
Vat Photopolymerisation	Liquid photopolymer in a vat is selectively cured by light-activated polymerisation.	Stereo lithography (SLA), digital light processing (DLP)	Polymers and ceramics
Material Jetting	Droplets of build material are selectively deposited.	3D inkjet printing	Polymers and composites
Binder Jetting	Liquid bonding agent is selectively deposited to join powder materials.	3D inkjet printing	Metals, polymers, and ceramics
Material Extrusion	Material is selectively dispensed through a nozzle or orifice.	Fused deposition modelling (FDM)	Polymers
Powder Bed Fusion	Thermal energy selectively fuses regions of a powder bed.	Selective laser sintering (SLS), Selective laser melting (SLM), electron beam melting (EBM)	Metal, polymer, composites and ceramics
Sheet Lamination	A process in which sheets of material are bonded to form an object.	Ultrasonic Consolidation (UC)	Hybrids, metals and ceramics
Directed Energy Deposition	A process that focused thermal energy and fuses materials by melting as the material is being deposited.	Laser metal deposition (LMD)	Metals and hybrid metals

TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA UTILIZADAS



PROCESOS DE FABRICACIÓN ADITIVA

Process Type	Technique Definition	Example Technology	Material
Vat Photopolymerisation	Liquid photopolymer in a vat is selectively cured by light-activated polymerisation.	Stereo lithography (SLA), digital light processing (DLP)	Polymers and ceramics
Material Jetting	Droplets of build material are selectively deposited.	3D inkjet printing	Polymers and composites
Binder Jetting	Liquid bonding agent is selectively deposited to join powder materials.	3D inkjet printing	Metals, polymers, and ceramics
Material Extrusion	Material is selectively dispensed through a nozzle or orifice	Fused deposition modelling (FDM)	Polymers
Powder Bed Fusion	Thermal energy selectively fuses regions of a powder bed.	Selective laser sintering (SLS), Selective laser melting (SLM), electron beam melting (EBM)	Metal, polymer, composites and ceramics
Sheet Lamination	A process in which sheets of material are bonded to form an object.	Ultrasonic Consolidation (UC)	Hybrids, metals and ceramics
Directed Energy Deposition	A process that focused thermal energy and fuses materials by melting as the material is being deposited.	Laser metal deposition (LMD)	Metals and hybrid metals

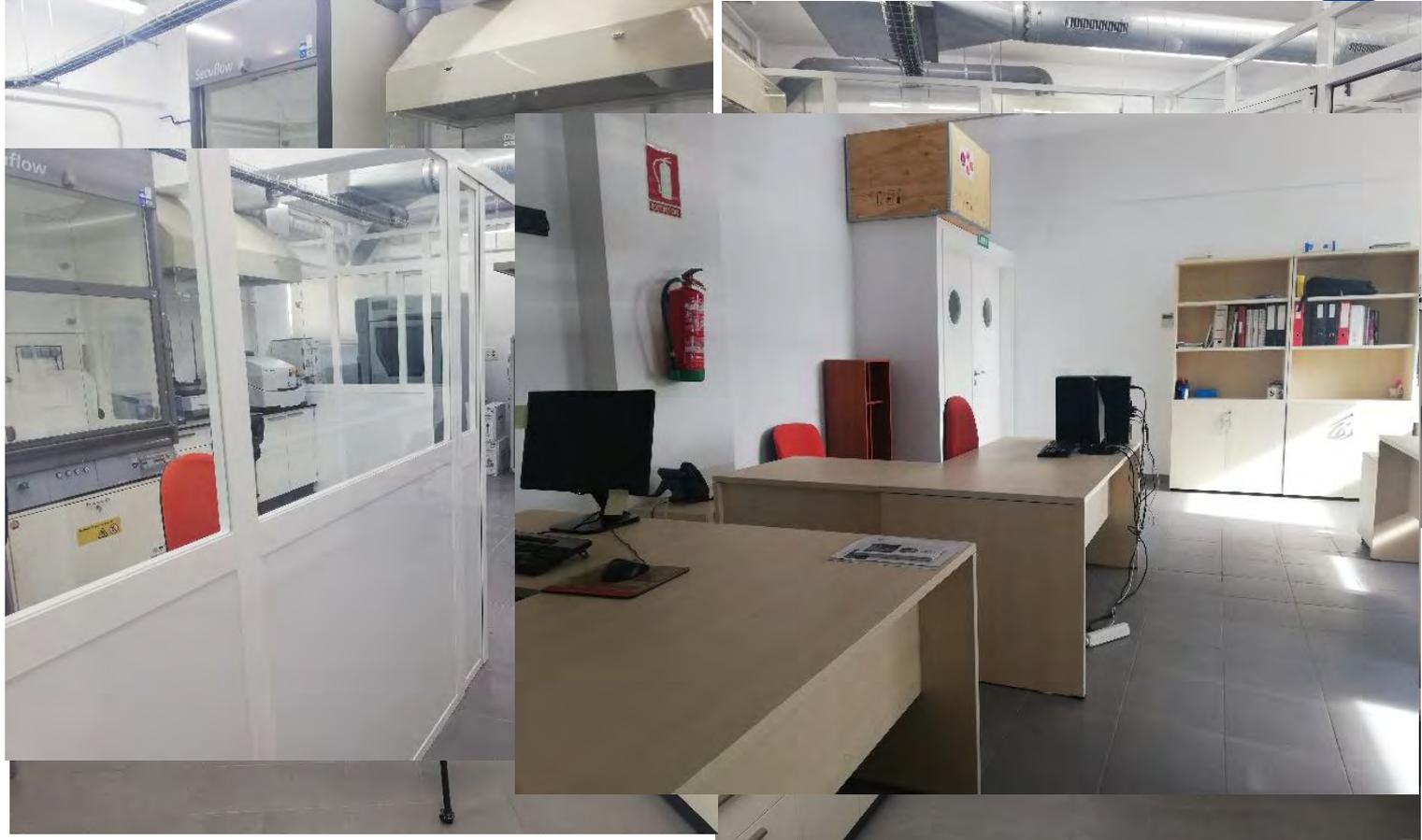
TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA UTILIZADAS



TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA UTILIZADAS



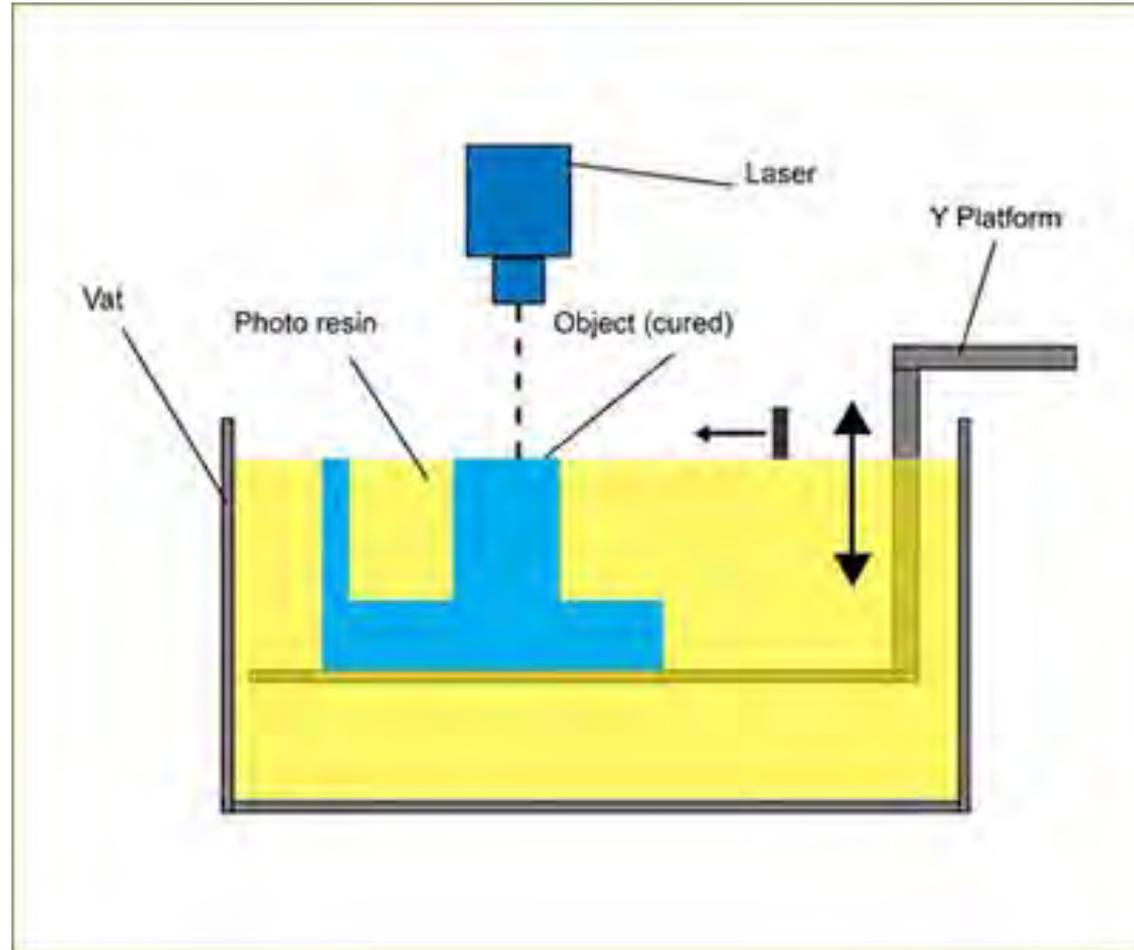
**DIVISIÓN DE
FABRICACIÓN
ADITIVA**



TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA UTILIZADAS



SLA: ESTEREOLITOGRAFÍA



TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA UTILIZADAS



FDM: FUSED DEPOSITION MODELING
FFF: FUSED FILAMENT FABRICATION



TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA UTILIZADAS



FGF: FUSED GRANULAR FABRICATION



PROTOTIPO
IMPRESORA
LFAM/FGF



 Junta de Andalucía
Consejería de Agricultura,
Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible

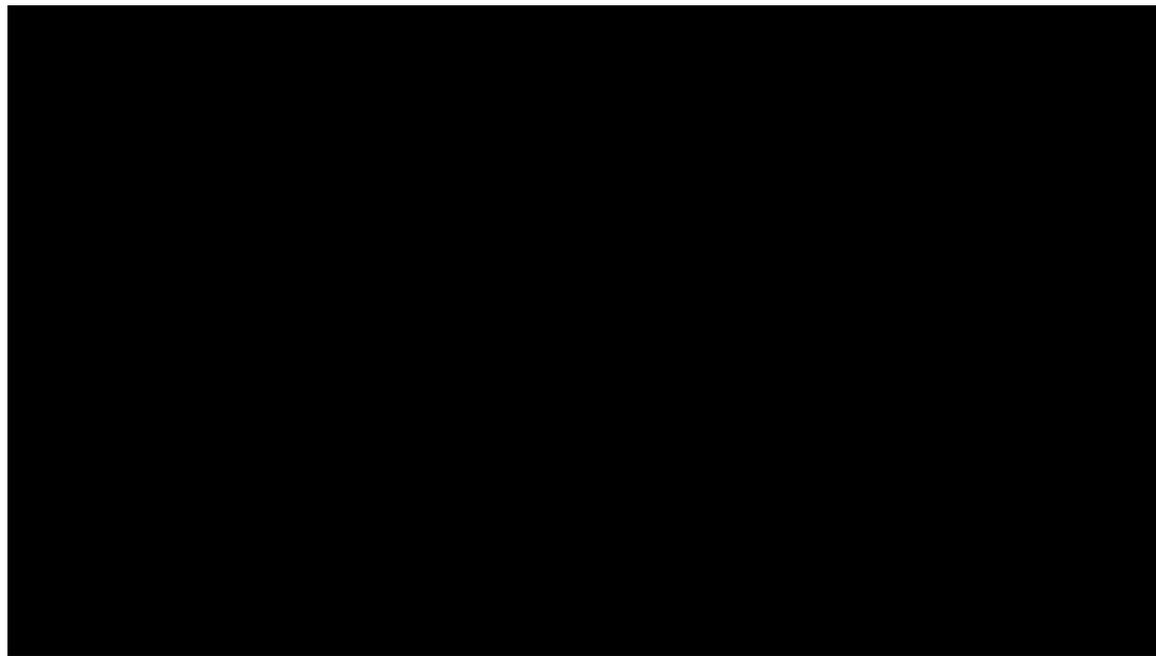
 iti INVERSIÓN TERRITORIAL
INTEGRADA
PROVINCIA DE CÁDIZ

 RESEARCH

TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA UTILIZADAS



FGF: FUSED GRANULAR FABRICATION





APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL:

PROYECTO ADICORK



APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



Proyecto ADICORK

DESARROLLO DE
APLICACIONES
INDUSTRIALES DE
MATERIALES BASADOS EN
CORCHO

Proyecto asociado a un **CONVENIO DE COLABORACIÓN** entre la **CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, PESCA Y DESARROLLO SOSTENIBLE** y la **UNIVERSIDAD DE CÁDIZ**.

Este proyecto se financia con cargo a fondos europeos correspondientes a la Inversión Territorial Integrada de la provincia de Cádiz.

Fecha de ejecución: 1 de julio de 2020 – 30 de junio de 2022



ALCORNOQUE



PRODUCTO

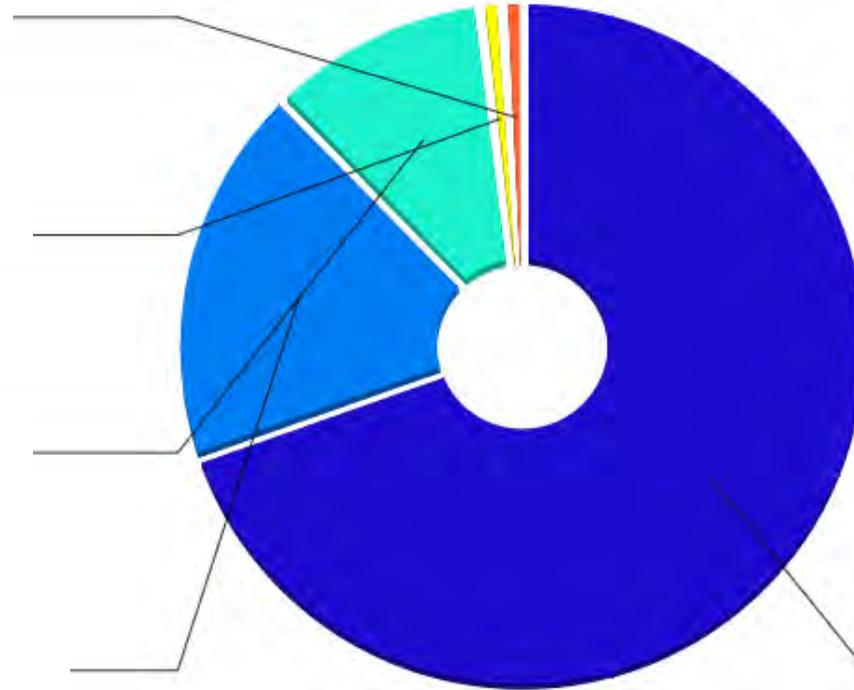


10-50 M€ (0,38%)

5-10 M€ (0,38 %)

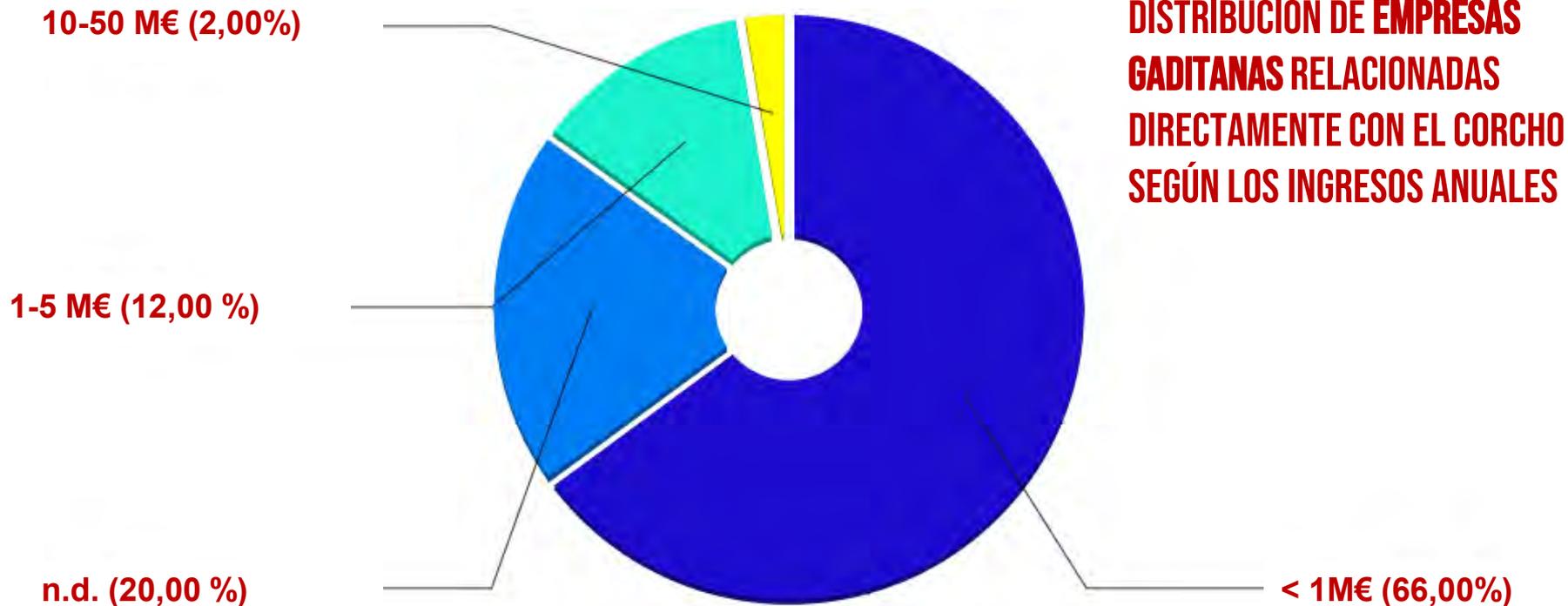
1-5 M€ (9,96 %)

n.d. (18,01 %)



DISTRIBUCIÓN DE EMPRESAS ANDALUZAS RELACIONADAS DIRECTAMENTE CON EL CORCHO SEGÚN LOS INGRESOS ANUALES

< 1M€ (71,26%)





MATERIALES ADICORK

SOSTENIBILIDAD

PROCESABILIDAD

RECICLABILIDAD

**DURABILIDAD
RESISTENCIA
INTEMPERIE**

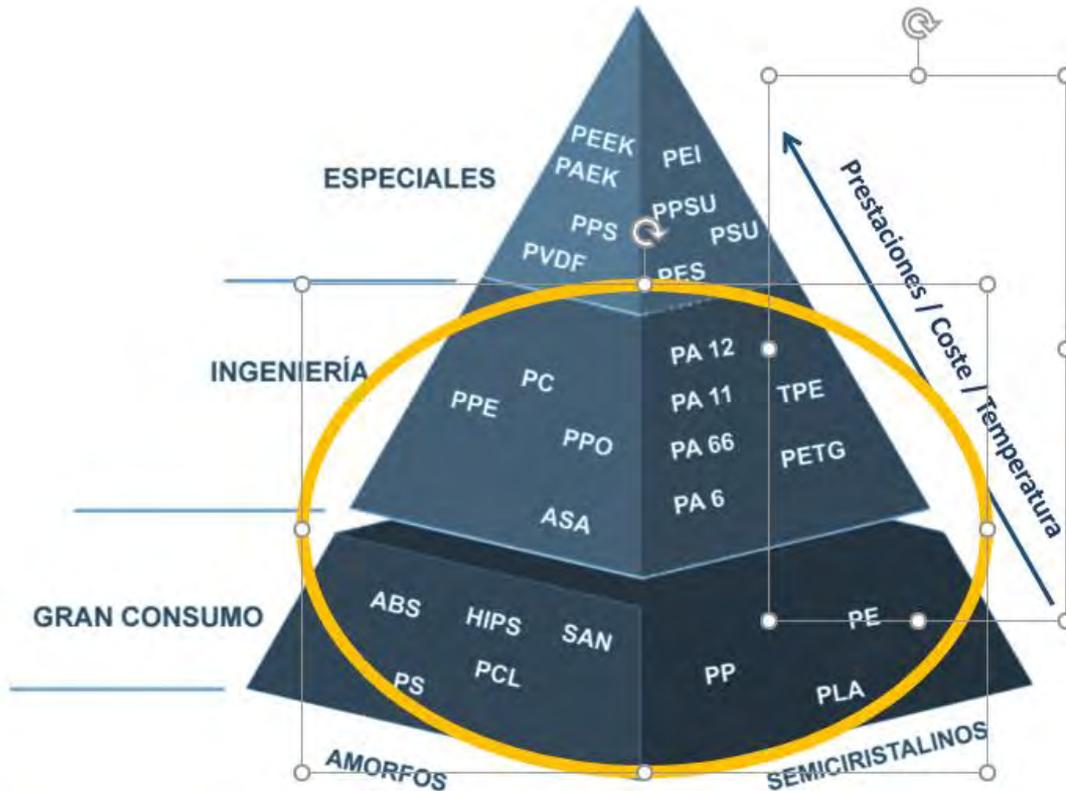
MEJORA MECÁNICA

AISLAMIENTO

DENSIDAD MENOR

**COMPORTAMIENTO
IGNÍFUGO**

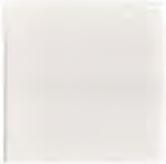




MATERIALES BASE UTILIZADOS

- **ABS**
- **ASA**
- **PLA**
- **PC**
- **PETG**
- **PET**
- **PMMA**
- **TPU**
- **RESINAS ACRÍLICAS**

MATERIALES ADICORK

Material	Foto
PETG	
PETG+ 10% corcho	
PLA	
PLA + 1,4% corcho	
PLA + 10% corcho	

ABS	
ABS corcho	
ABS reforzado químicamente	

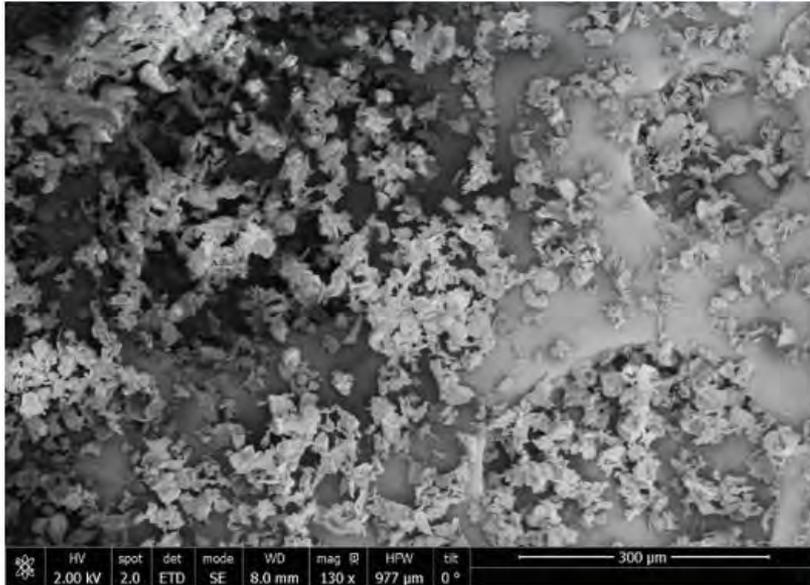
MATERIALES ADICORK

ASA	
ASA+1% corcho	
ASA+3% corcho	
ASA+5% corcho	

ASA+ aditivo ignifugo + 1% corcho	
ASA+ aditivo ignifugo + 3% corcho	
ASA+ aditivo ignifugo + 5% corcho	

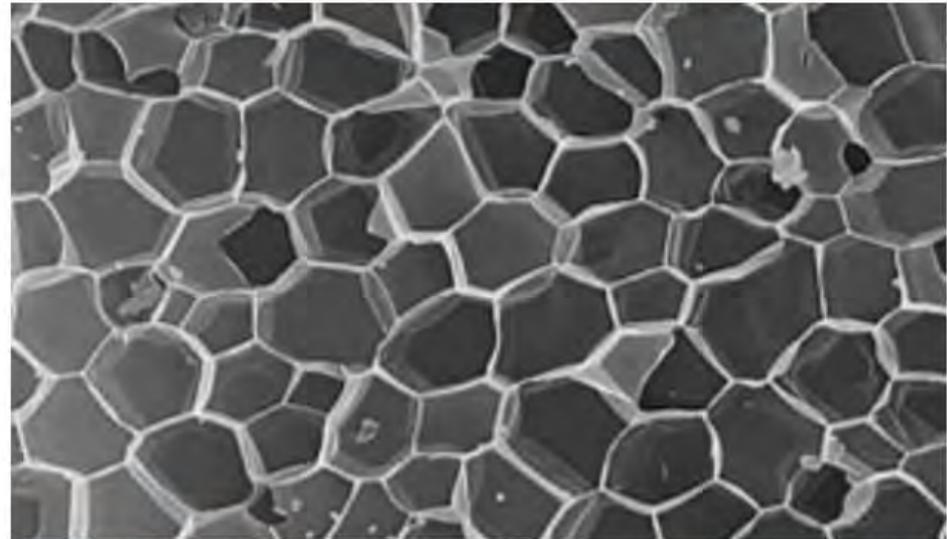
APROVISIONAMIENTO Y TRATAMIENTO PREVIO

Corcho finamente dividido (< 40 micras)



300 μm

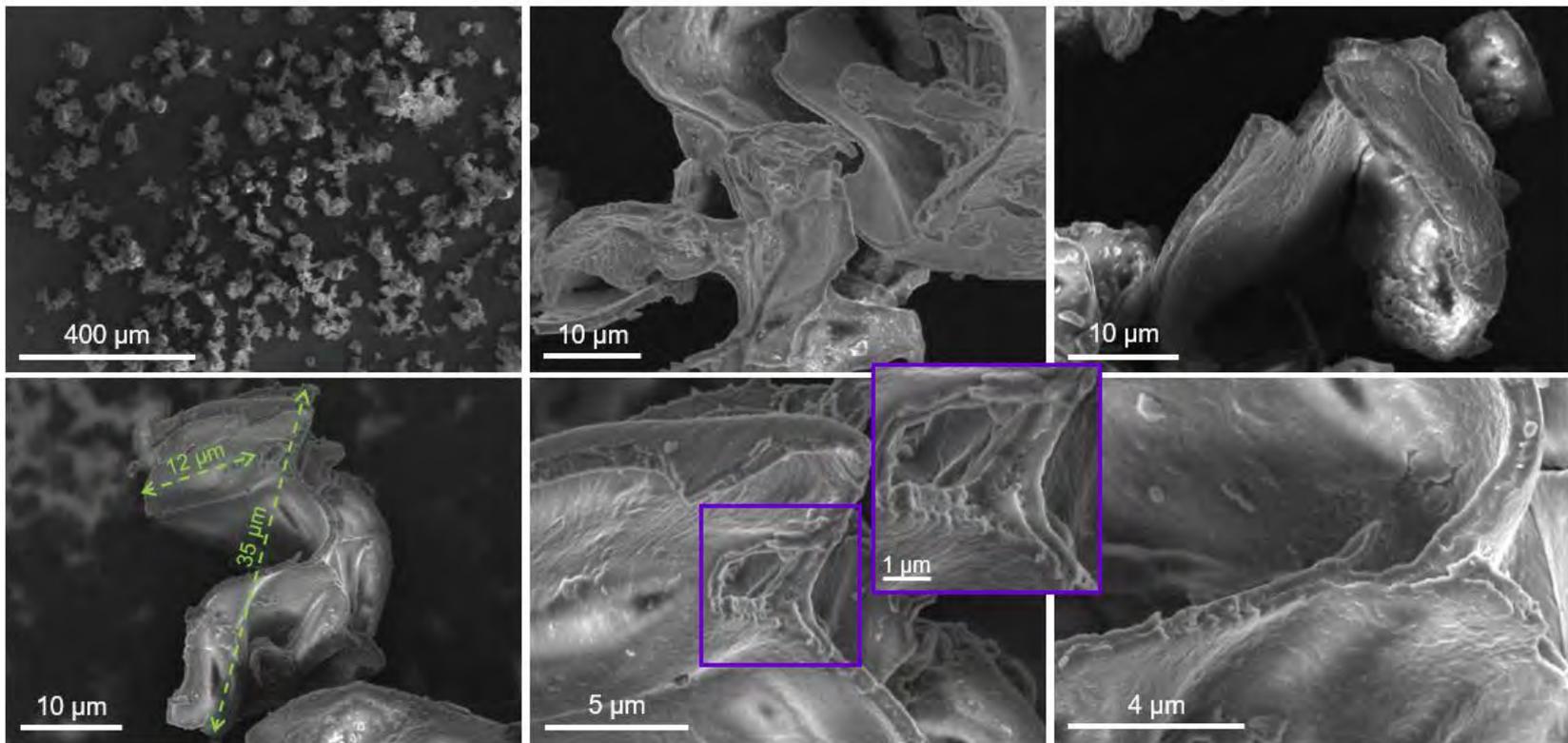
Estructura celular típica del corcho



Bioresources 10(3) (2015) 1-23

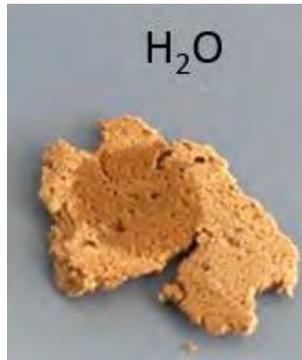
100 μm

CORCHO FÍNAMENTE DIVIDIDO (< 40 MICRAS)



PRETRATAMIENTOS DEL CORCHO

- TRATAMIENTO CON DISOLVENTES ORGÁNICOS

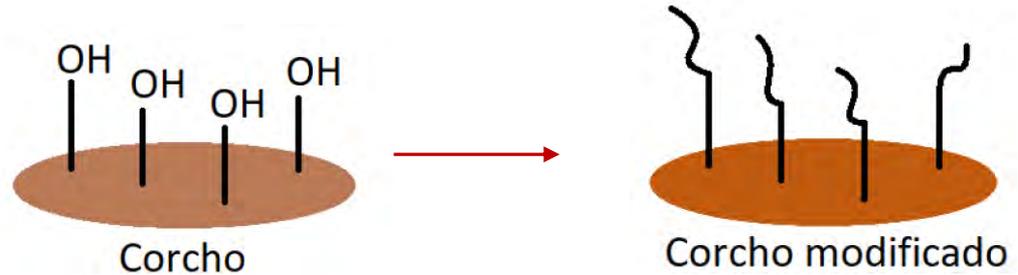


PRETRATAMIENTOS DEL CORCHO

- **SILANIZACIÓN**



- **POLIMERIZACIÓN SUPERFICIAL**



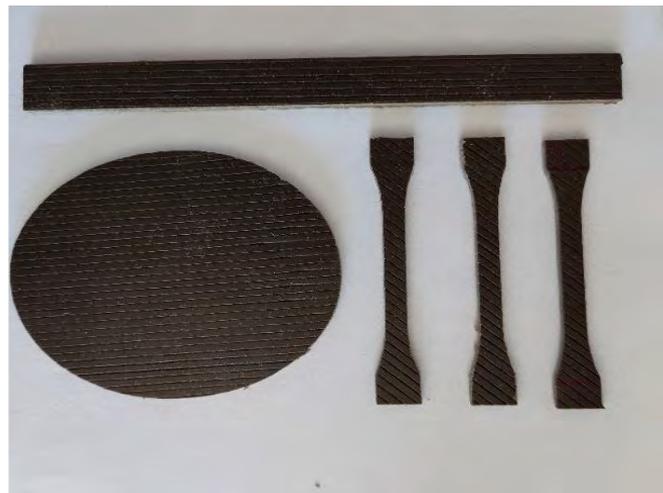
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



ENSAYOS REALIZADOS



INYECCIÓN EN MOLDE



FABRICACIÓN ADITIVA

Polymer Composites with Cork Particles Functionalized by Surface Polymerization for Fused Deposition Modeling

Alberto S. de León,* Fernando Núñez-Gálvez, Daniel Moreno-Sánchez, Natalia Fernández-Delgado, and Sergio I. Molina



Cite This: *ACS Appl. Polym. Mater.* 2022, 4, 1225–1233



Read Online

ACCESS |



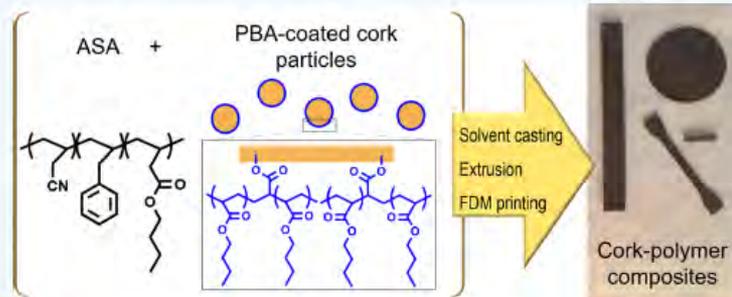
Metrics & More



Article Recommendations



Supporting Information

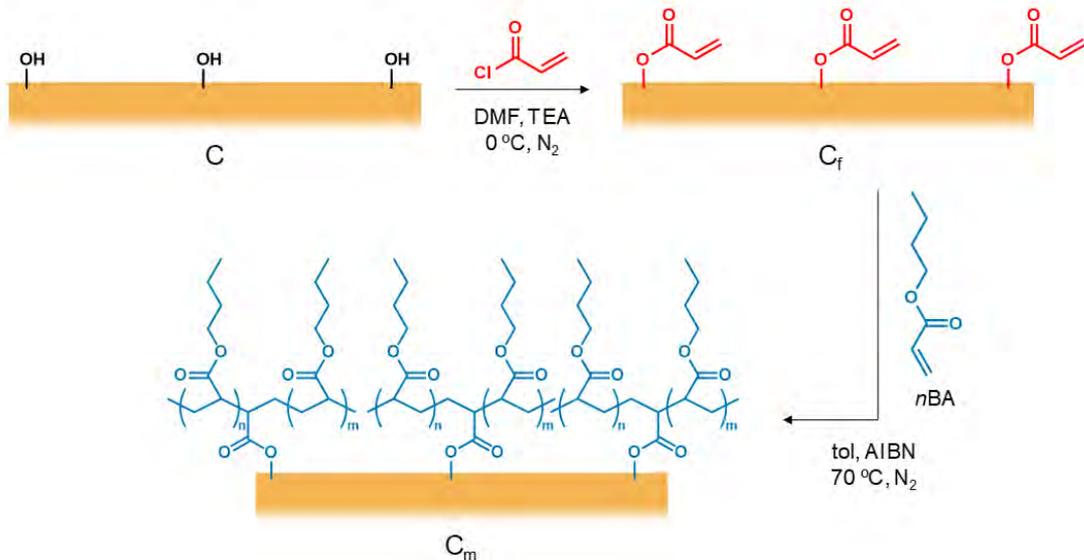


MATERIALES COMPUESTOS
DE ASA-CORCHO

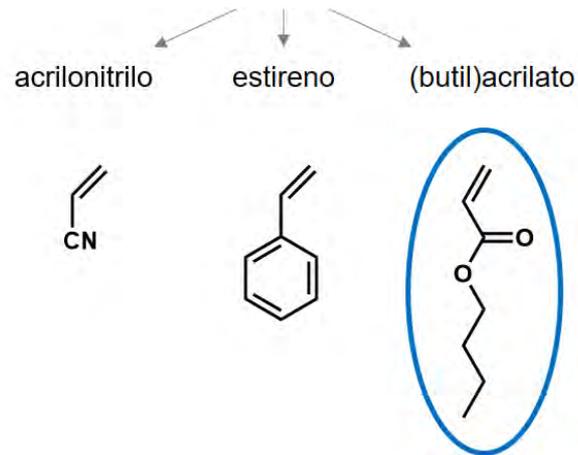
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



MICROPARTÍCULAS DE CORCHO DE 63 - 125 MICRAS



MATRIZ POLIMÉRICA ASA



APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



ASA



Corcho

Solvent casting
Extrusión



Fabricación
aditiva



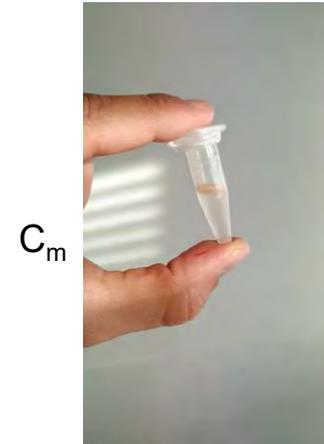
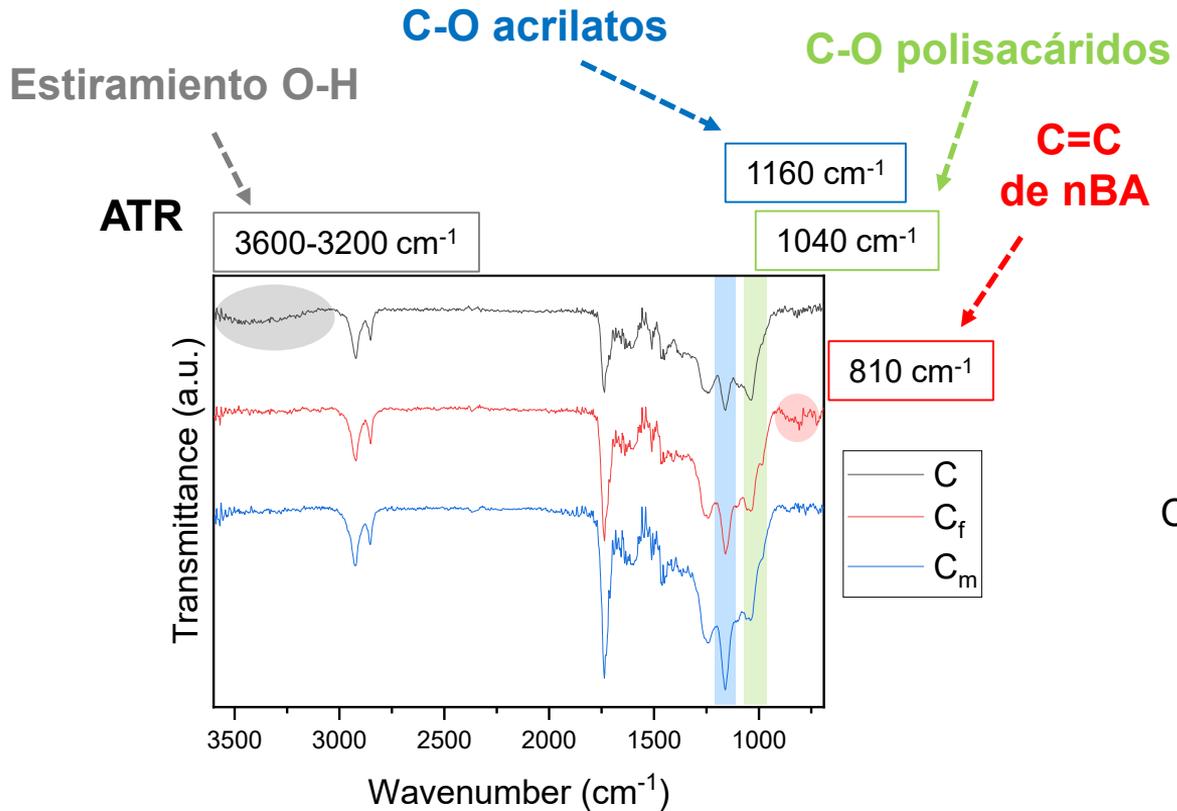
Propiedades mecánicas



Propiedades térmicas



APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



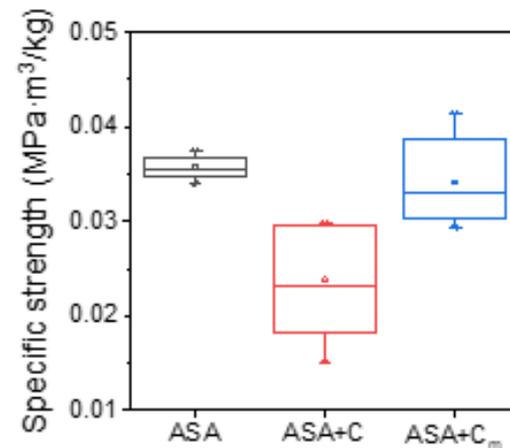
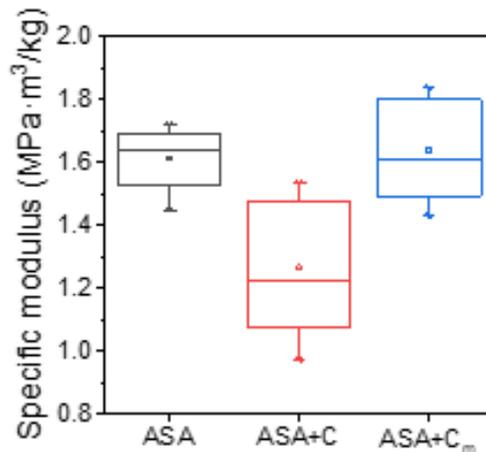
PROPIEDADES MECÁNICAS: TRACCIÓN



ASA

ASA+C

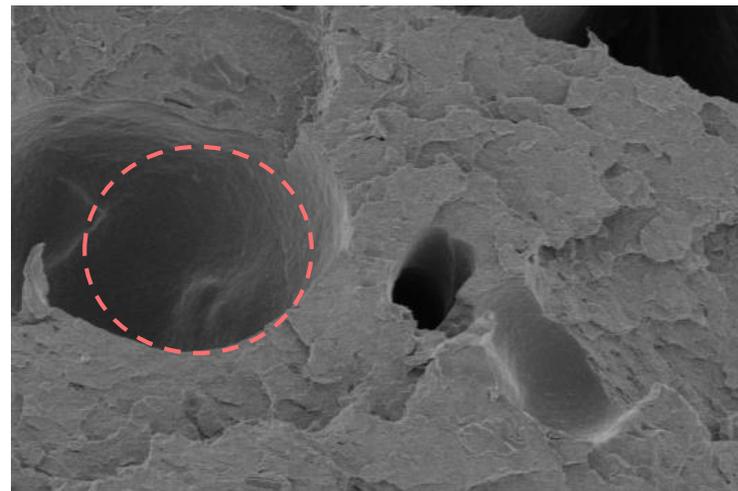
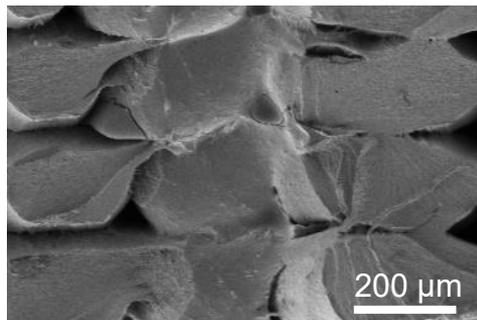
ASA+C_m



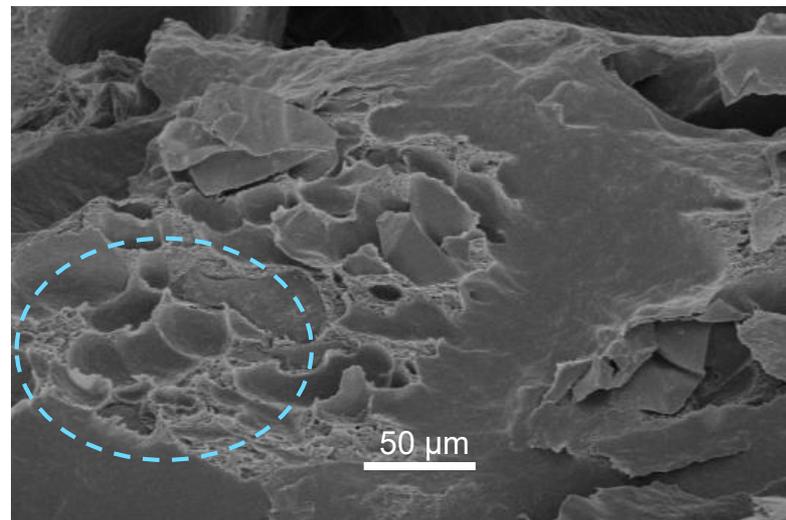
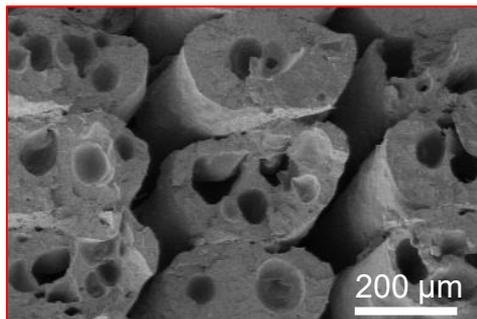
SEM

SUPERFICIE
DE FRACTURA

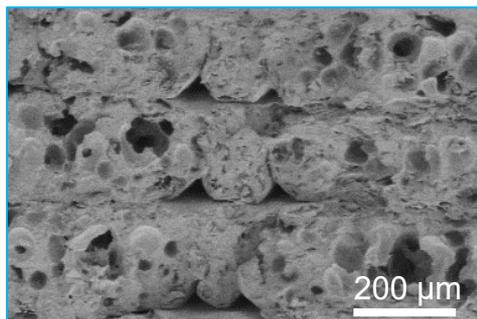
ASA



ASA+C



ASA+C_m





APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL:

PROYECTO ADICORK

DISEÑOS Y PROTOTIPOS



PROYECTO ADICORK

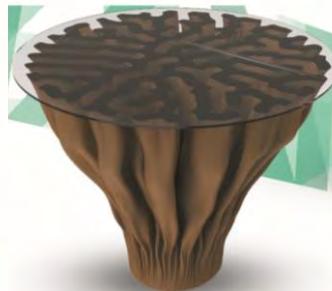
DISEÑOS Y PROTOTIPOS

- **MOBILIARIO URBANO Y PARQUES INFANTILES**
- **MOBILIARIO Y HÁBITAT**
- **NAÚTICA DEPORTIVA Y RECREATIVA**
- **NAVAL**
- **AERONÁUTICO**
- **AUTOMOCIÓN**
- **CONSTRUCCIÓN**

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



Mobiliario



Iluminación



APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



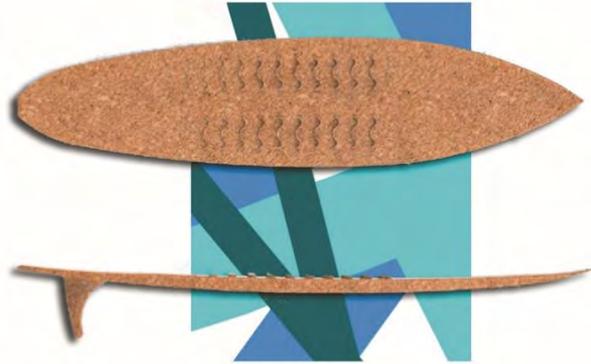
APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



Deporte

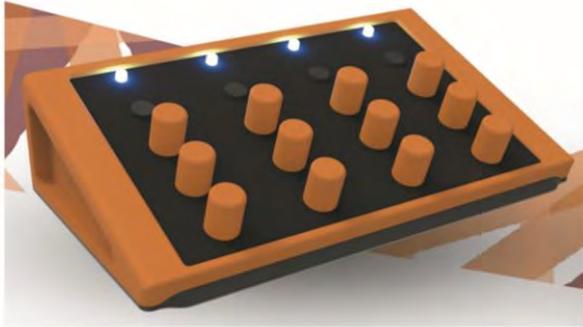


APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



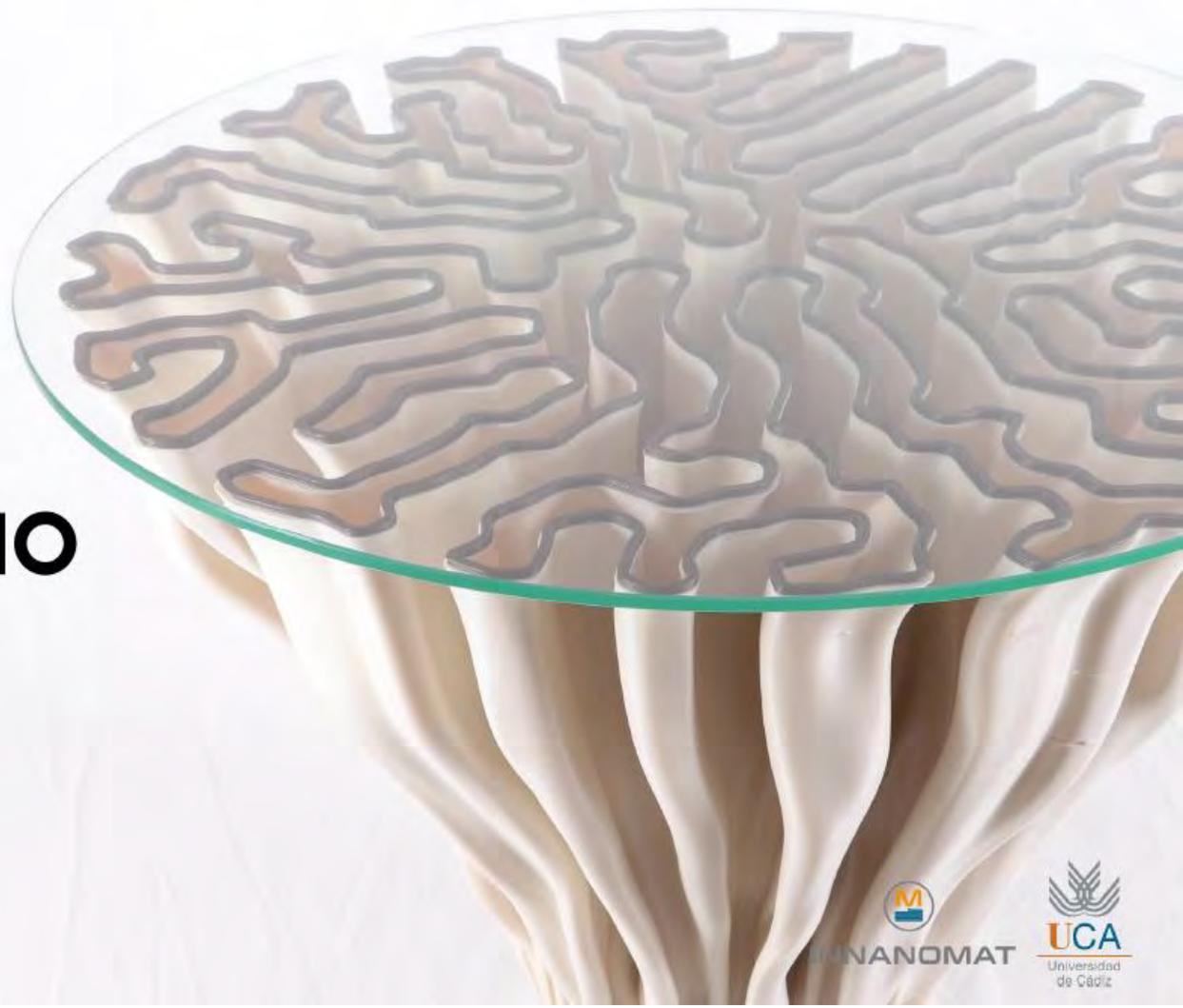
Entorno

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CORCHO NATURAL: PROYECTO ADICORK



Electrónica

BIOMIMETISMO



NANOMAT



UCA

Universidad
de Cádiz



MOBILIARIO

SILLA WAVES



INNANOMAT



UCA

Universidad
de Cádiz

MOBILIARIO

SILLA WAVES



INNOVOMAT



Universidad
de Cádiz

MOBILIARIO

SILLA WAVES



INNANOMAT



UCA

Universidad
de Cádiz

MOBILIARIO
SILLA WAVES



INNANOMAT



UCA
Universidad
de Cádiz

MOBILIARIO

TABURETE TRIANGULAR



INNANOMAT



UCA
Universidad
de Cádiz

MOBILIARIO

SILLON DIAMANTE



INNANOMAT



UCA

Universidad
de Cádiz

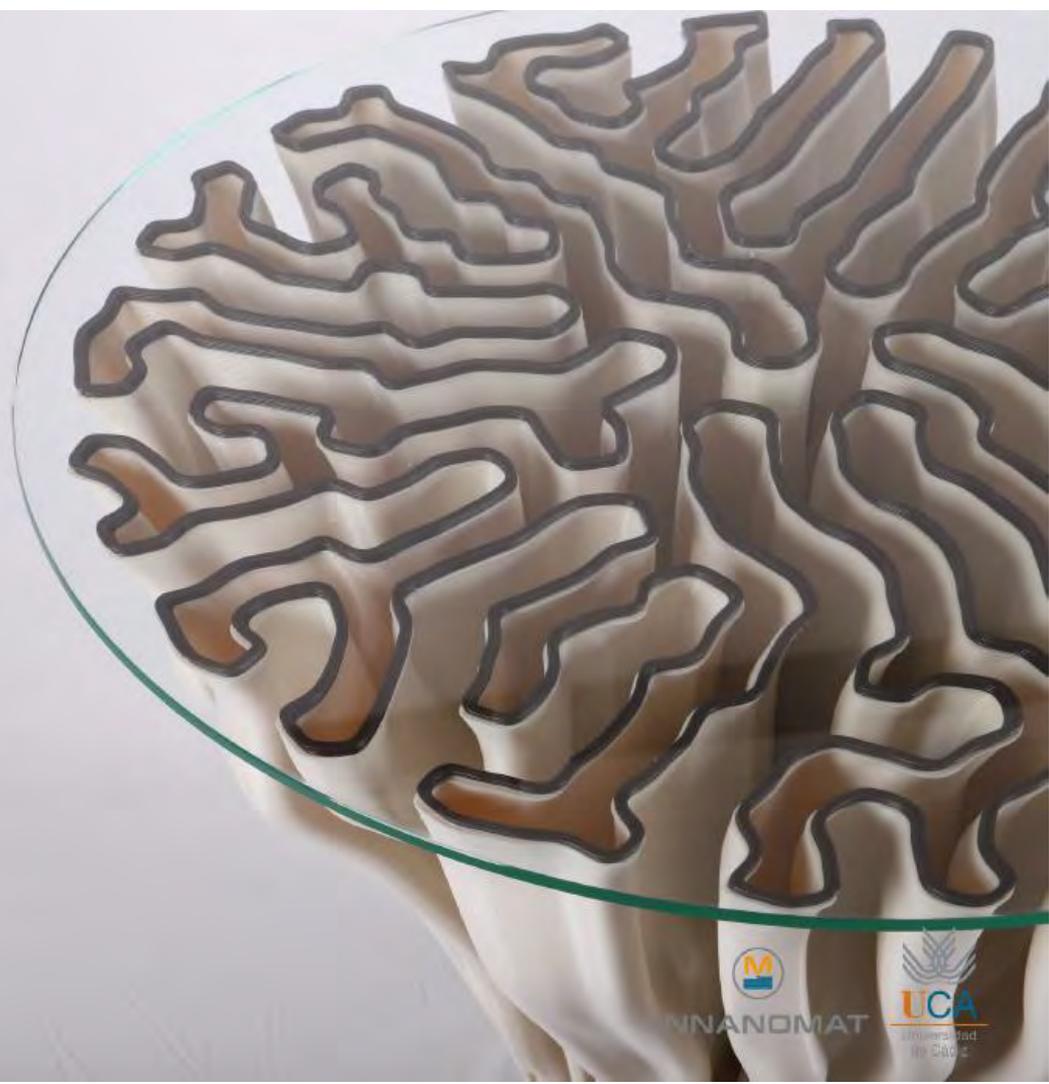
MOBILIARIO

SILLON DIAMANTE



MOBILIARIO

MESA ANEMONA



INNANOMAT

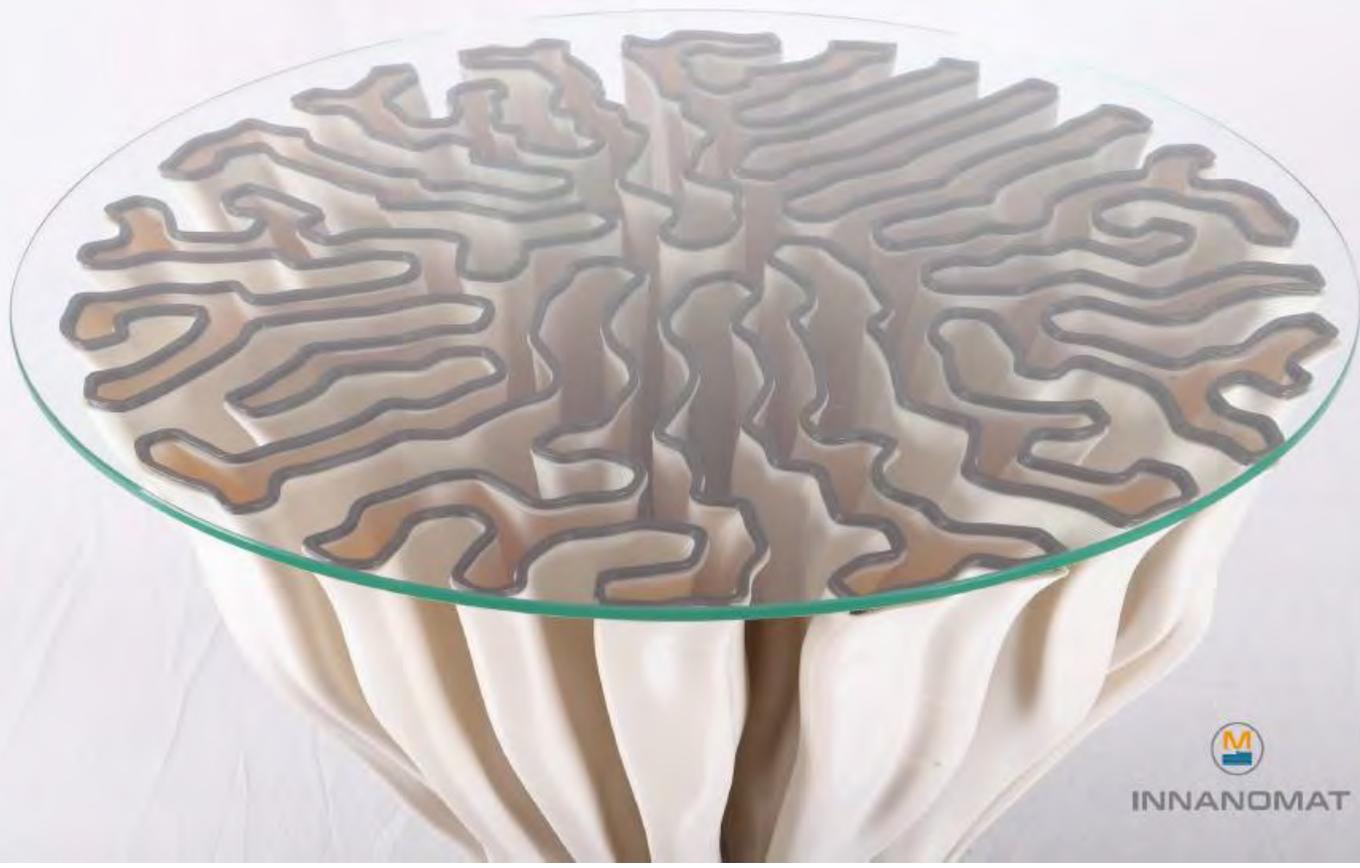


UCA

Universidad
del Cagayán

MOBILIARIO

MESA ANEMONA



INNANOMAT

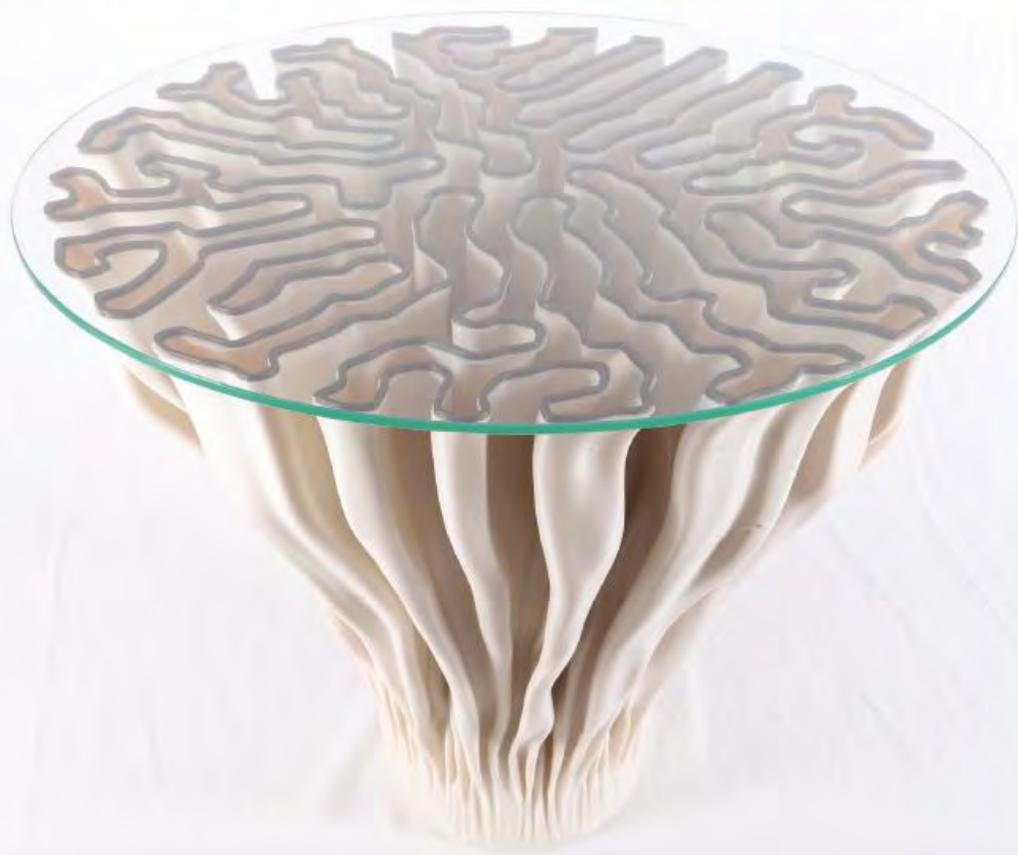


UCA

Universidad
de Cádiz

MOBILIARIO

MESA ANEMONA



INNANOMAT



UCA

Universidad
de Cádiz

ILUMINACION

LAMPARA ILUCORK



ILUMINACION

LAMPARA ILUCORK



INNANOMAT



UCA
Universidad
de Cádiz

ILUMINACION

LAMPARA ILUCORK



ILUMINACION

LAMPARA OCEANO



ILUMINACION

LAMPARA OCEANO



INNANOMAT



ILUMINACION

LAMPARA ACORK



INNANOMAT



UCA

Universidad
de Cádiz

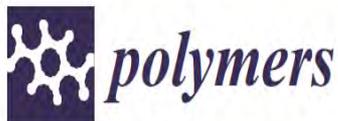
ILUMINACION
LAMPARA ACORK



DECORACION

JARRONES ORGANICOS





Article

Synthesis and Characterisation of ASA-PEEK Composites for Fused Filament Fabrication

Belén Palacios-Ibáñez ^{1,*}, José J. Relinque ^{1,*}, Daniel Moreno-Sánchez ¹, Alberto S. de León ¹,
Francisco J. Delgado ¹, Ramón Escobar-Galindo ² and Sergio I. Molina ¹

MATERIALES
COMPUESTOS DE
ASA-PEEK/CO-PEEK

¹ Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica y Química Inorgánica, IMEYMAT, Facultad de Ciencias, Campus Río San Pedro s/n, Universidad de Cádiz, 11510 Puerto Real (Cádiz), Spain; danielmoreno.sanchez@uca.es (D.M.-S.); alberto.sanzdeleon@uca.es (A.S.d.L.); fjavier.delgado@uca.es (F.J.D.); sergio.molina@uca.es (S.I.M.)

² Departamento de Física Aplicada, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Sevilla, C/Virgen de África 7, 41011 Sevilla, Spain; rescobar1@us.es

* Correspondence: belen.palacios@uca.es (B.P.-I.); josejavier.relinque@uca.es (J.J.R.);
Tel.: +34-956-01-2028 (B.P.-I. & J.J.R.)

APROVECHAMIENTO DE OTROS RESIDUOS EN FABRICACIÓN ADITIVA



Resistencia a la tracción = 100 MPa

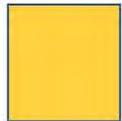
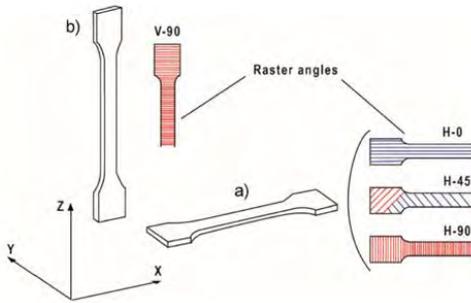
Módulo de elasticidad = 4,1 GPa

Temperatura de fusión = 343 °C

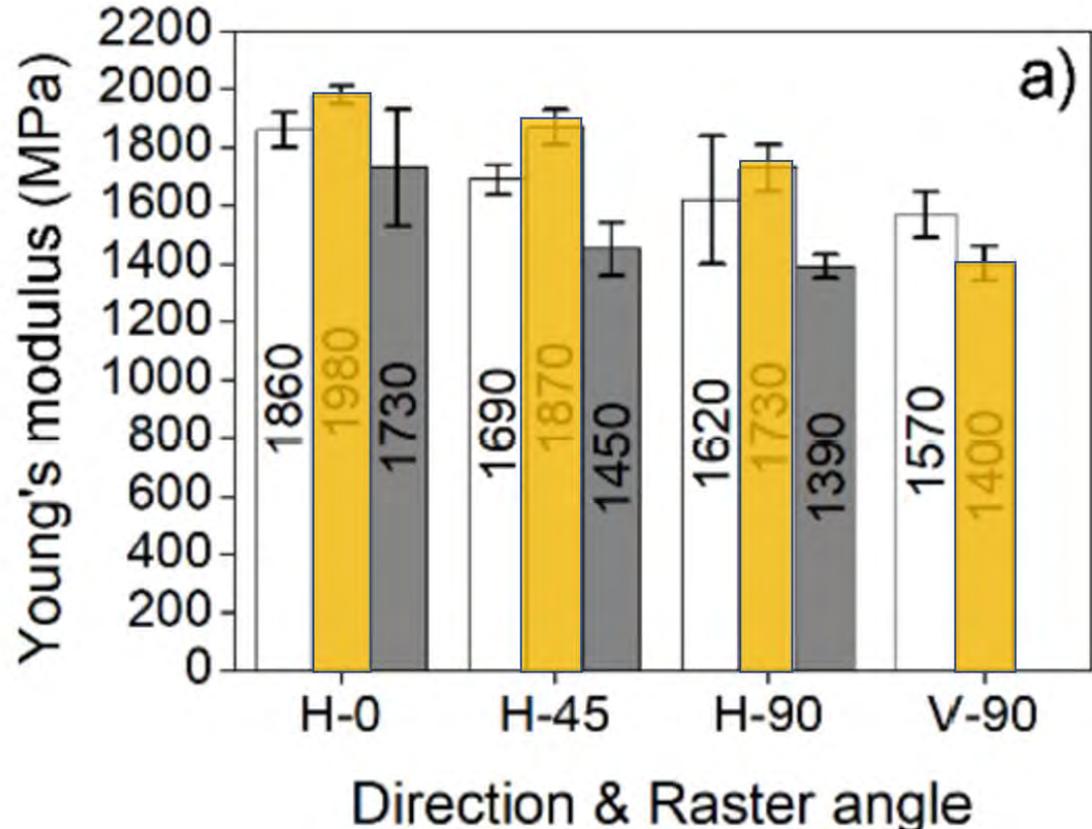
APROVECHAMIENTO DE OTROS RESIDUOS EN FABRICACIÓN ADITIVA



Fabricación Aditiva FFF



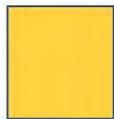
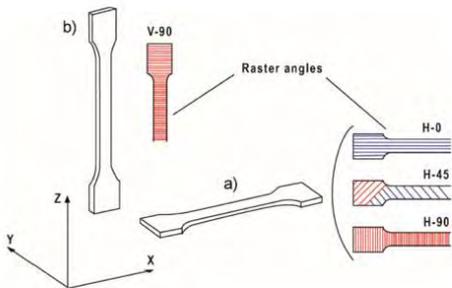
ASA - coPEEK



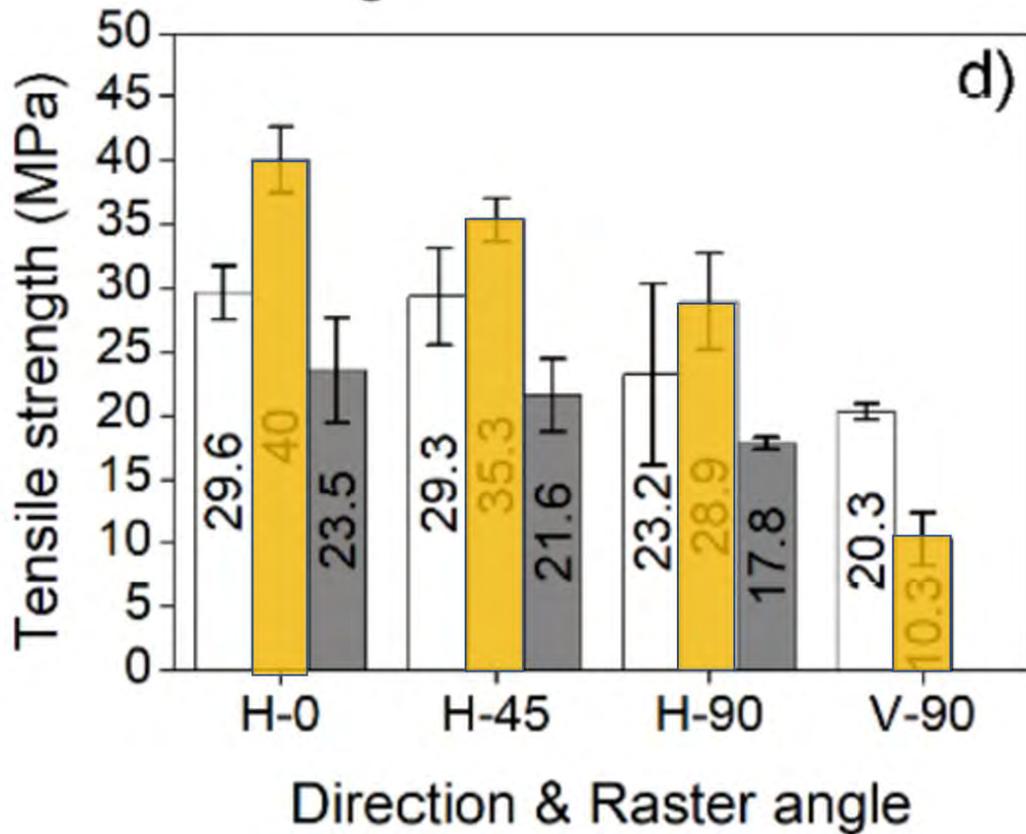
APROVECHAMIENTO DE OTROS RESIDUOS EN FABRICACIÓN ADITIVA



Fabricación
Aditiva FFF



ASA - coPEEK





CONCLUSIONES

- El desarrollo de materiales compuestos poliméricos y su transformación en productos es una vía factible para valorizar residuos
- Hemos demostrado la viabilidad técnica de esta aproximación para agroresiduos y residuos poliméricos, usando tecnologías de fabricación aditiva basadas en extrusión y estereolitografía
- Las tecnologías de fabricación aditiva han contribuido a incrementar el valor añadido potencial de los residuos industriales de corcho natural

Nuestros socios



Universidad de Cádiz



Universidad de Sevilla



INNANOMAT

Grupo INNANOMAT TEP946



Consultoría de proyectos I+D+i

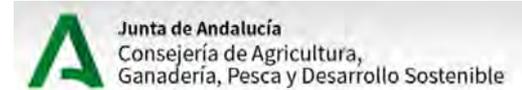


Comercialización de materiales

AGRADECIMIENTOS



PROYECTO 3DBLEND AEI - PRUEBA DE CONCEPTO



UNIÓN EUROPEA
"Una manera de hacer Europa"



X JORNADAS CÁTEDRA ACERINOX
MARZO 2023



FABRICACIÓN ADITIVA DE MATERIALES COMPUESTOS POLIMÉRICOS CON RESIDUOS INDUSTRIALES

SERGIO I. MOLINA

Catedrático de Universidad. Investigador Responsable del Grupo INNANOMAT.
FACULTAD DE CIENCIAS. INSTITUTO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA Y
MATERIALES (IMEYMAT). UNIVERSIDAD DE CÁDIZ.



CONTACTO:



+34 671 577 891



sergio.molina@uca.es

X JORNADAS CÁTEDRA ACERINOX

