



ENVASOST

INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO DE
SOLUCIONES DE
PACKAGING
SOSTENIBLE PARA
EL SECTOR
COSMÉTICA



Contenido

1. Ficha técnica del proyecto.....	2
2. Antecedentes y motivaciones	3
3. Objetivos del proyecto	6
4. Plan de trabajo	7
5. Resultados obtenidos	21
6. Colaboradores externos e impacto empresarial	¡Error! Marcador no definido.



1. Ficha técnica del proyecto

N.º EXPEDIENTE	IMDEEA/2024/89
TÍTULO COMPLETO	INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE SOLUCIONES DE PACKAGING SOSTENIBLE PARA EL SECTOR COSMÉTICA
PROGRAMA	Ayudas dirigidas a centros tecnológicos CV para proyectos de I+D en cooperación con empresas
ANUALIDAD	2024 - 2025
PARTICIPANTES	(si procede)
COORDINADOR	(si procede)
ENTIDADES FINANCIADORAS	IVACE – INSTITUT VALENCIÀ DE COMPETITIVITAT EMPRESARIAL
ENTIDAD SOLICITANTE	AITEX
C.I.F.	G03182870



2. Antecedentes y motivaciones

El sector cosmética es un sector en el que se utiliza una gran cantidad de envases de muy distinta índole y que hasta la fecha se lleva a cabo utilizando mayoritariamente materiales poliméricos vírgenes de fuentes no renovables como puede ser el PP, PET, PMMA, PS, etc.... Es por ello que es necesaria una transición hacia envases con una huella de carbono más baja, donde no se genere tanta cantidad de residuo. En este escenario actual, la realización de un estudio de las diferentes alternativas sostenibles a estos envases es indispensable para poder dar una solución a los fabricantes de productos de cosmética para poder reemplazar los envases convencionales por envases más sostenibles.

El objetivo principal del proyecto es la investigación y desarrollo de envases sostenibles para cosmética a partir de biomateriales o lo que es lo mismo a efectos del proyecto materiales biodegradables/compostables. Con ello se pretende solucionar una necesidad cada vez más acuciante que es la disminución de los residuos que generan los envases en la industria de la cosmética. Para reducir los residuos que los envases en cosmética generan se puede actuar por 4 vías.

1. **La reutilización de los envases.** Esta opción lo que promueve es el rellenado de envases cosméticos que ya han sido vaciados con el mismo producto que presentaban. Este rellenado se puede hacer mediante monodosis o en puntos de recarga proporcionados por la marca de cosmético.
2. **Reciclaje.** Esta tecnología tiene como finalidad recoger los envases una vez han llegado a su vida útil y transformarlos de nuevo material polimérico apto para envases. Este proceso se puede realizar de forma mecánica donde el material se grancea y se vuelve a procesar, o de forma química en el que el material se descompone en monómeros para después proceder a la polimerización y obtención de material en granza.
3. **Biodegradabilidad/compostaje.** Este es un proceso por el cual los materiales se descomponen en materia orgánica en condiciones de temperatura y humedad concretas, según el material.
4. **Pirólisis.** Esta tecnología consiste en la degradación térmica del material en una atmósfera controlada para obtener energía y diferentes gases que se pueden re-utilizar.

A continuación se muestra una tabla donde se exponen las ventajas e inconvenientes de cada tecnología en la actualidad.

Sistema gestión residuos	Ventajas	Inconvenientes
Re-utilización	No genera huella de carbono, ya que no hay un post-procesado del envase.	No existe un control del envase, una vez en manos del consumidor queda a su criterio la manipulación del envase.
		Necesidad de establecer el número de re-usos del envase. Llevar el control del número de re-usos es algo a lo que el



		consumidor no está acostumbrado.
		Se pierde el control sobre la manipulación / caducidad del producto una vez está en el envase re-usado.
		Por la reología de los productos cosméticos, no todos ellos pueden ser sometidos a un proceso de rellenado o "refill".
reciclaje	El reciclaje mecánico es el más extendido actualmente con buenas tasas de recuperación, sobre todo del PET de botella.	Requiere de envases monomaterial. En muchos de los casos no es posible obtener envases monomaterial, ya sea porque se necesitan diferentes capas para cumplir la normativa o que tienen diferentes elementos (dosificadores) que requieren de materiales plásticos/metálicos diferentes a los del envase.
	El reciclaje químico permite la obtención de un material con las mismas propiedades que el material virgen	Proceso todavía en estudio, por ahora requiere de alto consumo energético
Biodegradabilidad/ compostaje	Supone un residuo casi 0 ya que el material se descompone y pasa a formar parte de un sustrato orgánico.	Bajo nivel de madurez en cuanto a desarrollo de materiales biodegradables
	Posibilidad de usar este sustrato en agricultura.	Falta de comparativa de propiedades de los materiales biodegradables con los materiales convencionales.
	Posibilidad de usar multicapa siempre y cuando sean materiales biodegradables todas las capas.	Necesidad de conocer el ciclo/ condiciones de biodegradabilidad del material para adaptarlo a la aplicación concreta.
Pirolisis	Se puede reciclar cualquier material plástico. Genera energía y gases que se pueden volver a utilizar.	El rendimiento de esta tecnología es muy bajo. Su utilización se discrimina a aquellos residuos que son imposibles de reciclar por las otras vías. Sería la última opción de reciclaje.



Como se puede extraer de la tabla anterior, la biodegradabilidad/compostaje es opción muy buena para el sector cosmético ya que permitiría, sin generar residuos, obtener envases multimaterial con las propiedades óptimas para cada aplicación. En cuanto a los inconvenientes existentes, son todos ellos relacionados con la falta de investigación en este campo y con la intercomparabilidad de materiales biodegradables y convencionales, es en este punto donde el proyecto ENVASOST presenta la **novedad del proyecto**; en la generación de ese conocimiento necesario para que la industria cosmética pueda hacer uso de estos materiales para el desarrollo de sus envases.



3. Objetivos del proyecto

El objetivo del proyecto es **desarrollar soluciones para sistemas packaging de cosmética, a partir de materiales sostenibles y modificarlos para que cumplan la normativa cosmética vigente**. Para ello se llevará a cabo un estudio de materiales sostenibles (compostables y biodegradables) con las potenciales propiedades para sustituir los actuales materiales poliméricos, así como los aditivos necesarios para adaptarlos a su proceso de fabricación.

Los objetivos específicos – técnicos del proyecto son los siguientes:

- ✓ Adquirir **Know-how sobre los biopolímeros potenciales para su aplicación como envases para el sector cosmética**. Para la obtención posterior de envases con las propiedades que requiere el producto, será necesario conocer las características de los diferentes materiales poliméricos sostenibles así como sus particularidades en el procesamiento.
- ✓ Adquirir **Know-how sobre los potenciales aditivos sostenibles a utilizar para modificar las propiedades de los biopolímeros** para que puedan ser aptos para el sector cosmética. Tan importante es conocer los polímeros base como los diferentes aditivos que puedan mejorar las propiedades y alcanzar las propiedades que por sí mismo no presentan.
- ✓ Adquirir **Know-how sobre la normativa referente a envases para cosmética** a cumplir en función de la aplicación. La tercera pata de conocimiento necesario para llevar a cabo el proyecto de forma correcta es la normativa y requerimientos que han de cumplir tanto el material como el envase final para ser apto como producto final para cosmética
- ✓ Realización de **pruebas de extrusión de film, film soplado y envases mediante extrusión – soplado** para caracterizar las propiedades de los materiales y determinar la idoneidad de cada uno de ellos como potenciales materiales válidos para la industria cosmética. Con la realización de estas pruebas también se podrá determinar si los diferentes materiales sostenibles son aptos en el proceso de extrusión de envases
- ✓ Realización de un **estudio de compatibilidad de biomateriales y aditivos con productos cosméticos**. Este estudio permitirá conocer si los materiales cumplen los requerimientos necesarios en cuanto a compatibilidad entre compuestos cosméticos y material del envase, para que no exista ningún riesgo para la salud
- ✓ **Obtención de dos envases a partir de materiales biodegradables**, envase flexible para gel/champú y envase rígido para crema cosmética. Como objetivo final se plantea el desarrollo de envases para dos aplicaciones concretas que presentan requerimientos diferentes tanto en su procesado como en sus propiedades y características como envase.



4. Plan de trabajo

A continuación se muestra el cronograma del proyecto y los trabajos realizados en cada una de las actividades/tareas.

CRONOGRAMA

PAQUETES DE TRABAJO	MESES																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
PT 1. GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO																								
ACTIVIDAD 1.1. GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO																								
H1.1. Solicitud del proyecto a IVACE.				▲																				
H1.2. Justificación del proyecto.																								▲
PT 2. EJECUCIÓN TÉCNICA																								
ACTIVIDAD 2.1. ESTADO DEL ARTE / VIABILIDAD TÉCNICA / IPR																								
ACTIVIDAD 2.2. EXPERIMENTAL																								
ACTIVIDAD 2.3. CARACTERIZACIÓN																								
ACTIVIDAD 2.4. COORDINACIÓN TÉCNICA Y VALIDACIÓN	☀					☀				☀					☀					☀				☀
E2.1. Entregable del estado del arte.																								◊
E2.2 Entregable desarrollo experimental																								◊
E2.3 Entregable de caracterización y validación																								◊
H1. Obtención de films a partir de biomateriales.																								▲
H2. Obtención de envases a partir de biomateriales																								▲
PT 3. COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS																								
ACTIVIDAD 3.1. COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS																								
E3.1. TRANSFERENCIA Y PROMOCIÓN DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO																								◊
E3.2. INFORME DE ACTIVIDADES DE DIFUSIÓN REALIZADAS POR EL CENTRO																								◊
E3.3. INFORME PUBLICABLE DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO																								◊
H3.1. Validación de los resultados en empresas cooperadoras.																								▲
H3.2. Publicación de la información, avance del proyecto y resultados.																								▲
PT 4. SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO																								
ACTIVIDAD 4.1. SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO																								
H4.1. Supervisión y seguimiento del proyecto.																								▲



PT 1. GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO

ACTIVIDAD 1.1. GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO



PT 2. EJECUCIÓN TÉCNICA

ACTIVIDAD 2.1. ESTADO DEL ARTE / VIABILIDAD TÉCNICA / IPR

En esta actividad se ha buscado información relativa a los diferentes aspectos del envase cosmético y los potenciales biopolímeros y aditivos a estudiar. A continuación se muestra el índice de contenidos del estudio del estado del arte.

INTRODUCCIÓN

PROCESOS DE FABRICACIÓN

- Extrusion Blow Molding
- Injection Blow Molding
- Film Blow Extrusion
- Film Flat Extrusion
- Boquillas de extrusión de film
- Coextrusión

MATERIALES UTILIZADOS EN ENVASES COSMÉTICOS ACTUALMENTE

- Polietileno (PE)
- Polipropileno (PP)
- Tereftalato de polietileno (PET)
- Alcohol Polivinílico
- Cloruro de polivinilo (PVC)
- Poliestireno (PS)
- Polietileno tereftalato amorfo (APET)
- Policarbonato (PC)

BIOMATERIALES

- Polímeros proteicos
- Polietileno de base biológica (Bio-PE)
- Polipropileno de base biológica (Bio-PP)
- Polipropileno reciclado
- Tereftalato de polietileno de base biológica (Bio-PET)
- Mecanismos de degradación
- Elastómeros Termoplásticos de Origen Biológico: Bio TPE
- Polihidroxialcanoatos (PHAs)
- PLA



- PBS y BioPBS
- Quitina y quitosano
- Almidón termoplástico, TPS

BIOADITIVOS

- Nanoarcillas
- Nanocelulosa
- Carbonato de calcio

PROPIEDADES DE LOS ENVASES COSMÉTICOS

- Permeación de gases
- Protección frente al oxígeno
- Protección UV en envases cosméticos
- Compatibilidad entre Envase y Producto: Clave para la estabilidad y calidad

NORMATIVA DE ENVASADO EN COSMÉTICOS

- Marco internacional
- Unión Europea
- España

LÍMITES Y REQUISITOS DE LOS MATERIALES EN ENVASES COSMÉTICOS.

ACTIVIDAD 2.2. EXPERIMENTAL

En esta actividad se ha desarrollado todo el trabajo experimental relacionado con el desarrollo de envases para cosmética a partir de biomateriales. Estos trabajos están divididos en las siguientes tareas:

Tarea 2.2.1. Búsqueda y adquisición de materiales

En esta tarea se ha desarrollado la búsqueda de diferentes biomateriales con los que llevar a cabo las pruebas de extrusión, tanto con materiales vírgenes como con mezclas de ellos para mejorar la procesabilidad y las propiedades barrera.

Para ello se han buscado materiales en diferentes distribuidores de materiales como son:

- Ultrapolimers
- Resinex
- Policomplex
- Besterfield
- Nature Plast

Además de empresas que fabrican directamente este tipo de materiales como:

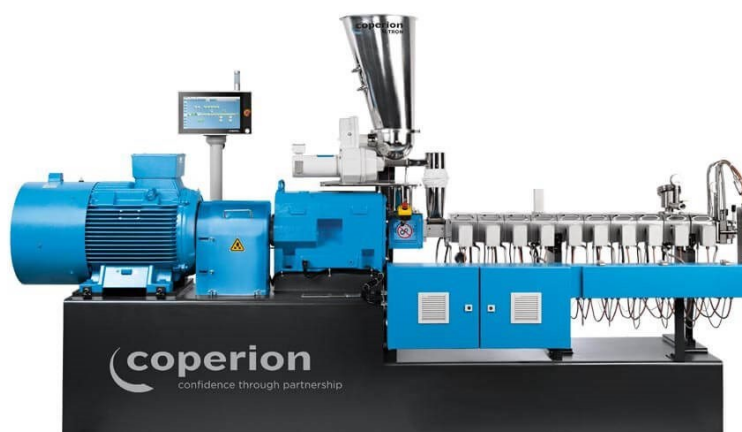
- Total Corbion
- ADbioplastics
- Envalior
- Novamont
- LG polymers
- Basf

Tarea 2.2.2. Proceso de aditivación/compounding

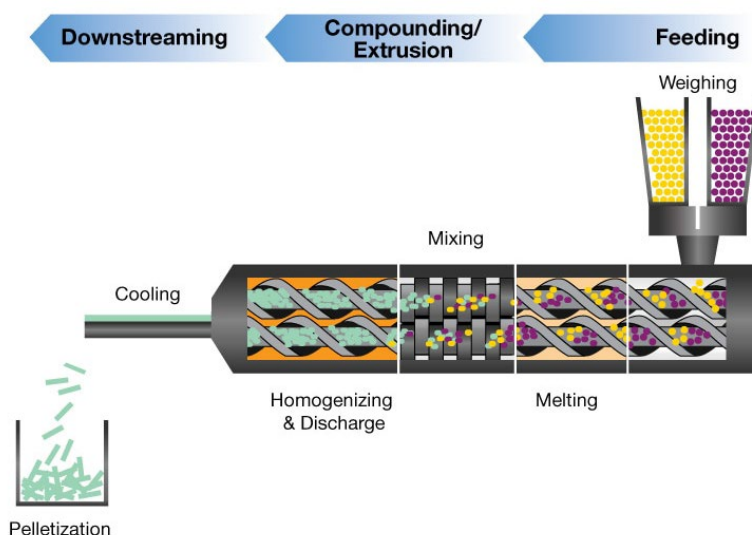
Una vez adquiridos los diferentes materiales, se definieron distintas mezclas de materiales, donde un material tiene la funcionalidad de matriz y la otra tiene la funcionalidad de aditivo, con el fin de mejorar las propiedades de los materiales matriz para el proceso de obtención de envases.

Antes de realizar las pruebas de extrusión tanto para cinta, como para film fue necesario realizar el compounding de las distintas mezclas para conseguir que la homogeneidad del material resultantes sea óptima para el posterior proceso de extrusión.

Para la realización de las distintas mezclas y obtención de granza se ha utilizado la planta piloto de compounding de que dispone el Instituto Tecnológico Textil AITEX, la cual permite fundir dos materiales en las proporciones adecuadas para mezclarlos.



Máquina de compounding.



Esquema básico de extrusión en fundido compounding (Fuente: Termofisher).

El elemento principal de esta tecnología es una extrusora de doble husillo co-rotante con dosificadores gravimétricos y configuración de tornillos totalmente modulable, pudiéndose definir el perfil de estos para asegurar una correcta dispersión del nanomaterial en el seno de la matriz polimérica.

Tarea 2.2.3. Desarrollo de pruebas de extrusión de Film

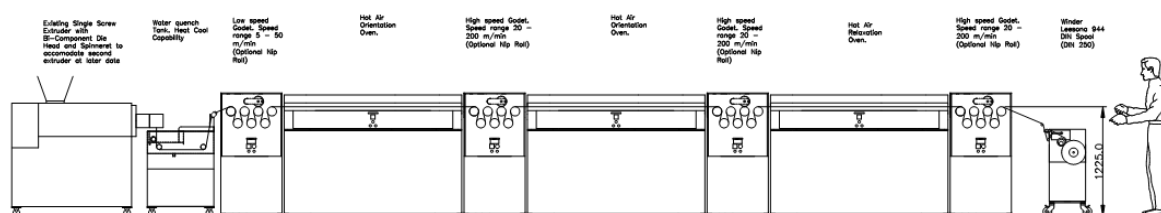
Una vez se disponía de los biopolímeros, tanto virgen como en sus diferentes mezclas, se realizaron las pruebas de extrusión por diferentes tecnologías para determinar su viabilidad y procesabilidad, así como luego realizar una caracterización mecánica. Las diferentes tecnologías de procesado fueron las siguientes.

- Extrusión de cinta plana.

La decisión de comenzar cada una de las formulaciones a estudiar obteniendo cinta plana atiende a varias razones. Por un lado con esta tecnología permite tener una cinta homogénea de material para su posterior caracterización mecánica y poder comparar las propiedades mecánicas de las distintas muestras y establecer que cuales son los mejores polímeros y la incidencia en las prestaciones de los aditivos utilizados.

Este cinta plana se ha obtenido utilizando la planta piloto de extrusión monofilamento que dispone AITEX. Para obtener esta cinta se ha tenido que utilizar un cabezal especial y ajustar las condiciones de máquina (temperatura, caudal, velocidad de extrusión, etc..) a cada una de las formulaciones para obtener una cinta homogénea.

El esquema general de la planta de monofilamento se muestra en la imagen.



Las dimensiones de la cinta plana varían según la formulación, ya que las densidades son diferentes y por tanto sus propiedades reológicas, pero van desde los 14 – 18 mm de ancho y desde 0.12 – 0.15 mm de espesor.

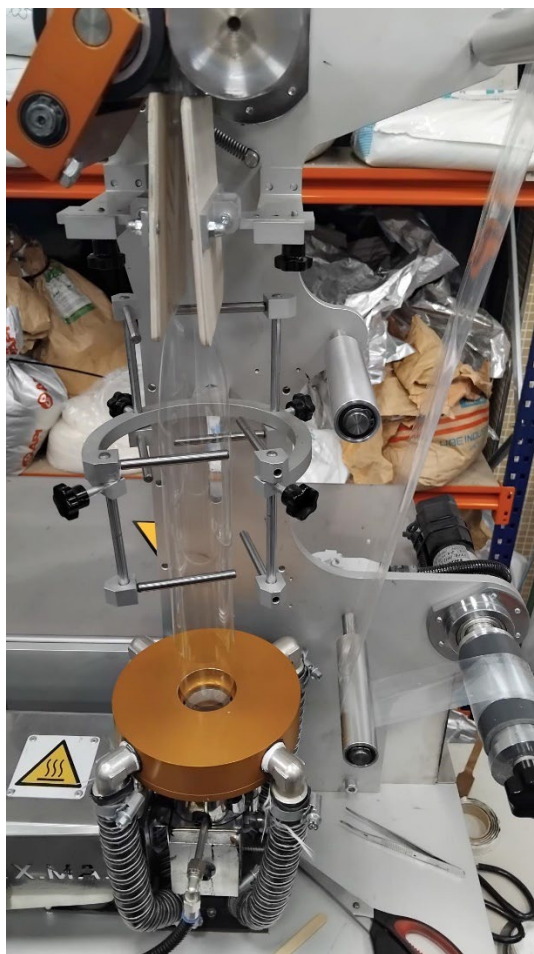
- Extrusión cast film

El siguiente paso en cuanto a la procesabilidad del material fue determinar si eran óptimos para la fabricación de film, para ello se diseñó un cabezal especial para la planta piloto de monofilamento con el que obtener film de entre 3,5 – 4,0 cm y entre 0,2 – 0,4 mm.

Utilizando la misma planta piloto que en el caso de la cinta plana, pero con un cabezal totalmente diferente se realizaron pruebas con las distintas formulaciones para determinar los problemas que puedan existir. EL procesado de cinta plana y de film es muy diferente ya que la cantidad de material que se extruye es mucha mayor y por tanto el comportamiento en semi fundido y luego a la hora de solidificar es distinta y pueden surgir problemas diferentes.

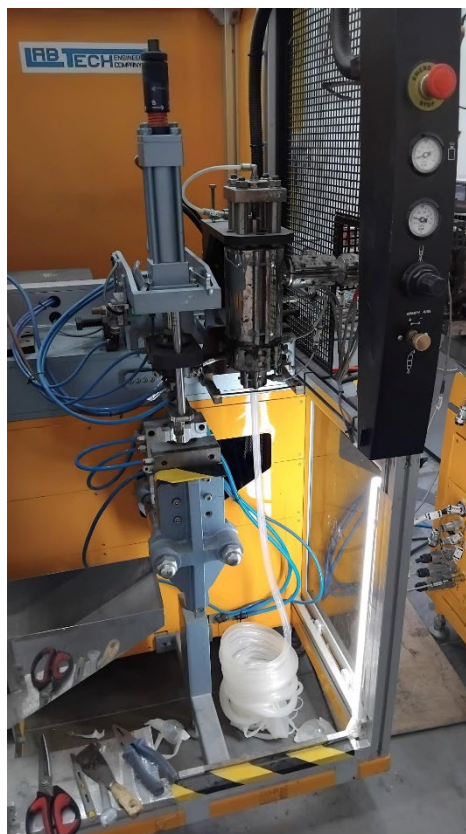
- Extrusión blow film.

En esta parte de estudio de tecnologías de procesado también se han llevado a cabo pruebas de blow film utilizando el equipamiento que dispone la escuela politécnica de Alcoi. En este proceso se extruye el material formando un globo que se solidifica y se recoge en forma de film. Esta tecnología permite determinar que materiales y formulaciones presentan un mejor comportamiento al estirado en fundido con el fin de obtener espesores mas finos y poder establecer si el material es óptimo para el proceso de blow molding.



Tarea 2.2.4. Obtención de prototipos de Envases

Por último se han realizado pruebas de extrusión blow moulding con el fin de obtener envases con las mejores formulaciones obtenidas. Para ello se han realizado pruebas de extrusión en la planta piloto que dispone AITIIP donde se han probado diferentes formulaciones. Este último paso permite determinar que formulaciones son aptas para este tipo de tecnología y por tanto para la obtención de envases destinados para cosmética.



ACTIVIDAD 2.3. CARACTERIZACIÓN.

En esta actividad se detalla el trabajo de caracterización realizado en el proyecto, ya sea caracterización mecánica, morfológica, y de propiedades barrera de los distintos formatos desarrollados en el proyecto.

Tarea 2.3.1. Caracterización de polímeros.

En esta tarea se han caracterizado térmicamente los polímeros base con los que se han llevado a cabo las diferentes formulaciones para determinar su comportamiento durante el proceso de extrusión y así poder ajustar mejor los parámetros de procesado.

- Caracterización del MFI.

Un ensayo de Melt Flow Index (MFI) consiste en medir la fluidez del material plástico fundido bajo condiciones controladas de temperatura y presión. Se realiza colocando el polímero en un cilindro calentado y aplicando un peso estándar para que el material fluya a través de una boquilla.

El resultado se expresa en gramos por 10 minutos (g/10 min) y refleja la viscosidad del polímero fundido:

MFI alto → material más fluido (menor viscosidad).

MFI bajo → material más viscoso (menos fluido).

- Caracterización reológica.

La caracterización reológica de polímeros consiste en estudiar cómo se comporta un polímero cuando se somete a esfuerzos y deformaciones en estado fundido. En otras palabras, analiza la viscosidad y elasticidad del material bajo diferentes condiciones de temperatura, presión y velocidad de deformación.

Se utiliza un reómetro para aplicar esfuerzos controlados (cizalla, tensión) y medir la respuesta del material.

Se obtienen curvas como:

Viscosidad vs. velocidad de cizalla (fluidez del polímero).

Módulos elástico y viscoso (comportamiento sólido-líquido).

Tiempo de relajación (cómo se reorganizan las cadenas poliméricas).

- Caracterización termogravimétrica.

Para conocer la influencia de los aditivos sobre las matrices termoplásticas también se han realizado ensayos termogravimétricos, concretamente, TGA, FTIR y DSC. Con ello se puede



conocer la interacción del aditivo con la matriz y como puede cambiar las propiedades térmicas.

Tarea 2.3.2. Caracterización de films.

En esta tarea se engloban los ensayos de caracterización tanto de cinta plana como de films realizados durante el proyecto para conocer sus características y comparar las distintas formulaciones y así poder extraer conclusiones de cara al desarrollo de productos específicos con cada uno de los materiales según sus requerimientos.

- Caracterización mecánica.

El ensayo de tracción sobre materiales poliméricos consiste en aplicar una fuerza de estiramiento a una probeta hasta que se rompa, para evaluar cómo responde el material ante esfuerzos mecánicos.

Se coloca una probeta normalizada en una máquina universal de ensayos.

Se aplica una carga creciente en dirección longitudinal a velocidad controlada.

Se registran datos como fuerza aplicada y elongación, obtenidos los siguientes resultados:

- Resistencia a la tracción (máxima tensión antes de romperse).
- Módulo elástico (Young) (rigidez del material).
- Deformación en rotura (ductilidad).
- Curva tensión-deformación, que muestra el comportamiento elástico y plástico.

Por otro lado el ensayo de impacto en materiales poliméricos mide la resistencia del material a fracturarse cuando recibe un golpe repentino. Es clave para evaluar la tenacidad y la capacidad de absorber energía.

Se utiliza un péndulo de impacto (tipo Charpy o Izod).

Una probeta normalizada se coloca en posición fija.

El péndulo golpea la probeta y se mide la energía absorbida hasta la rotura, proporcionando los siguientes resultados

- Energía de impacto (Joules).
- Tipo de fractura (frágil o dúctil).
- Ductilidad y elasticidad del material
- Comportamiento frente a choques.

- Caracterización cristalográfica de las mezclas.



Con el fin de determinar la disposición y homogeneidad de las mezclas se han realizado ensayos SEM y TEM. Estos ensayos se llevan en mezclas de polímeros donde se utiliza para analizar la morfología y estructura interna de los materiales a nivel micro y nanométrico.

- SEM (Scanning Electron Microscopy):
Usa un haz de electrones para obtener imágenes de la superficie del material con gran detalle.
Permite ver la distribución de fases, rugosidad y tamaño de partículas en mezclas poliméricas.
- TEM (Transmission Electron Microscopy):
El haz de electrones atraviesa una muestra ultrafina.
Permite observar la estructura interna, interfaces y dispersión de componentes a nivel nanométrico.

Esta caracterización aporta la siguiente información.

- Caracterización de mezclas y compuestos: cómo se distribuyen los polímeros y aditivos.
 - Evaluar compatibilidad entre fases (por ejemplo, en polímeros mezclados o nanocompuestos).
 - Control de calidad y desarrollo de materiales avanzados.
 - Correlación con propiedades mecánicas y térmicas.
- Caracterización de propiedades barrera.

Un aspecto muy importante a caracterizar son las propiedades de barrera de oxígeno y humedad.

El ensayo de caracterización de la barrera al oxígeno y a la humedad evalúa la capacidad de un material para impedir el paso de gases y vapor de agua, algo crítico en envases y aplicaciones donde se requiere protección frente a oxidación o humedad.

En estos ensayos se mide la tasa de transmisión:

- OTR (Oxygen Transmission Rate): cantidad de oxígeno que atraviesa el material en un tiempo determinado.
- WVTR (Water Vapor Transmission Rate): cantidad de vapor de agua que atraviesa el material.

Para ello se utilizan equipos específicos que controlan temperatura, humedad y presión para simular condiciones reales.



Tarea 2.3.3. Caracterización de prototipos.

En esta última tarea se han caracterizado los prototipos de envases desarrollados. Para ello se está llevando a cabo un ensayo de compatibilidad de productos cosméticos con el envase en el que se ha introducido una crema cosmética en envases de distintas formulaciones junto con un envase comercial a una temperatura y humedad controlada con el fin de establecer como se comporta el producto cosmético y si afecta al envase.

ACTIVIDAD 2.4. COORDINACIÓN TÉCNICA Y VALIDACIÓN

En esta actividad se engloban todos aquellos trabajos de seguimiento y supervisión necesarios para asegurar tiempos de ejecución, corregir desviaciones y recalculas posibles desajustes.



PT 3. COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

ACTIVIDAD 3.1. COMUNICACIÓN, DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESULTADOS

PT 4. SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO

ACTIVIDAD 4.1. SUPERVISIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO

5. Resultados obtenidos

Una vez concluido el proyecto se pueden detallar los resultados del mismo fruto del trabajo realizado. Estos resultados se van a exponer teniendo en cuenta los resultados esperados que se definieron en la memoria con el fin de establecer si se han cumplido los objetivos planteados.

1. Obtención de un amplio conocimiento en biopolímeros y aditivos potenciales .

En este sentido se han realizado pruebas con multitud de biopolímeros vírgenes y mezclas de estos materiales con el fin de determinar su comportamiento y viabilidad en los diferentes procesos de obtención de biopolímeros.

Concretamente se han estudiado 10 biomateriales diferentes y más de 30 mezclas de biomateriales donde se ha podido establecer cuales de ellas han funcionado bien y cuales no han tenido las propiedades y/o procesabilidad para ser potenciales materiales a utilizar el sector del envase cosmético.

Como resultado destacable se puede comentar que el biopolímero que mejor ha funcionado como matriz es el PLA.

El PLA (ácido poliláctico) es un biomaterial con excelentes propiedades mecánicas, como alta resistencia y rigidez, además de ser biodegradable y provenir de fuentes renovables. Sin embargo, su elevada rigidez limitó su aplicación en envases que requieran mayor flexibilidad y resistencia al impacto.

Para solventar esta limitación, se realizaron mezclas con otros biopolímeros compatibles, lo que permitió incrementar la flexibilidad del material y mejorar su comportamiento frente a deformaciones. Esta modificación también optimizó la procesabilidad, facilitando la fabricación de envases mediante técnicas como extrusión y termoformado.

En consecuencia, la incorporación de biopolímeros en la matriz de PLA amplió su rango de aplicaciones en el sector del packaging, manteniendo sus ventajas medioambientales y adaptándolo a los requisitos funcionales del producto final.

Además, de mezclas de diferentes biomateriales, se han aditivado con compuestos inorgánicos en diferentes concentraciones para mejorar las propiedades barrera al oxígeno y a la humedad obteniéndose buenos resultados.

2. Adquisición de un amplio conocimiento en procesado de biomateriales.

Durante el desarrollo del proyecto se adquirió un importante know-how en el procesado de biomateriales, gracias a la realización de pruebas en diversas tecnologías de transformación. Se llevaron a cabo ensayos mediante extrusión de cinta plana, extrusión cast film y extrusión

blow film, lo que permitió evaluar el comportamiento de las mezclas poliméricas en procesos de obtención de láminas y películas.

Adicionalmente, se realizaron pruebas para la obtención de prototipos mediante tecnología blow molding, con el objetivo de validar la viabilidad de fabricar envases a partir de los materiales desarrollados. Estas experiencias aportaron un conocimiento profundo sobre la influencia de la formulación en la procesabilidad, estabilidad térmica y propiedades finales del producto.

Como resultado, se generaron ventajas competitivas clave, entre las que destacan:

- Capacidad para optimizar parámetros de procesado en diferentes tecnologías, reduciendo tiempos de ajuste y desperdicio.
- Mayor flexibilidad en el diseño de envases sostenibles, adaptando formulaciones a requerimientos funcionales y estéticos.
- Reducción de riesgos técnicos en la industrialización, gracias a la validación previa en condiciones reales.
- Posicionamiento estratégico como referente en el desarrollo y transformación de biomateriales para packaging.

Este know-how consolida una base sólida para futuros proyectos orientados a la economía circular y la sustitución de materiales convencionales por soluciones más sostenibles.

3. Desarrollo de films previos a la obtención de envases.

Como resultados previos a la obtención de envases, se planteó la fabricación de films mediante diferentes tecnologías de extrusión utilizando los biomateriales estudiados. Estos films no solo sirvieron como muestras para la caracterización de propiedades mecánicas, reológicas y barrera, sino que también se consideraron subproductos funcionales dentro del proceso.

En la industria del envasado cosmético, estos films se emplean como elementos de barrera frente a oxígeno y humedad, contribuyendo a la conservación y estabilidad de los productos cosméticos. De este modo, las pruebas realizadas permitieron validar la procesabilidad de las formulaciones en tecnologías como extrusión de cinta plana, cast film y blow film, además de generar prototipos mediante blow molding.

Este enfoque aportó un doble valor: por un lado, la obtención de datos técnicos para optimizar las mezclas poliméricas; por otro, la generación de productos intermedios con aplicación real en el sector, lo que refuerza la viabilidad industrial y la ventaja competitiva en el desarrollo de soluciones sostenibles para packaging.

4. Obtención de envases y flims con barrera a oxígeno y humedad.

Se han obtenido envases mediante tecnología blow molding utilizando diferentes mezclas de biopolímeros, lo que permitió confirmar la viabilidad de estos materiales para aplicaciones en packaging. Las pruebas realizadas demostraron que las formulaciones desarrolladas presentan una adecuada procesabilidad y cumplen con los requisitos funcionales para la fabricación de envases sostenibles.

Por otro lado, se logró mejorar las propiedades barrera de estas mezclas mediante la incorporación de aditivos inorgánicos, lo que incrementó su resistencia al paso de oxígeno y humedad. Esta mejora es especialmente relevante para aplicaciones en la industria cosmética y alimentaria, donde la conservación del producto es crítica.

En conjunto, estos resultados consolidan el conocimiento adquirido en el procesado de biomateriales y posicionan las tecnologías desarrolladas como una alternativa competitiva y sostenible frente a los materiales convencionales.

Finalmente se detallan los resultados obtenidos en cuanto a mejora de propiedades barrera de diferentes biopolímeros y sus mezclas.

RESULTADOS PERMEABILIDAD AL AGUA

Muestra	Promedio y desv. estándar (g*mm/m ² *día)	Promedio y desv. estándar (g*m/m ² *s* Pa) (P*10 ¹¹)
PLA	6.8±2	2.6±2
ADITIVO 1	4.5±1	1.7±0.5
PLA/ADITIVO 1 mezcla 1	7.7±2	2.9±0.9
PLA/ADITIVO 1 mezcla 2	3.8±0.2	1.5±0.0
PLA/ADITIVO 1 mezcla 1 + inorg 1	6.2±1.7	2.4±0.6
PLA/ADITIVO 1 mezcla 1 + inorg 2	4.0±0.8	1.5±0.3

Los resultados obtenidos mostraron que la adición de un compuesto inorgánico en las mezclas de biopolímeros produjo una mejora significativa en las propiedades barrera frente a la humedad. Este efecto se debe a que los aditivos inorgánicos, al incorporarse en la matriz polimérica, generan una estructura más compacta y menos permeable, dificultando el paso de moléculas de vapor de agua.



Este comportamiento es especialmente relevante en aplicaciones de envases para cosmética y alimentación, donde la protección frente a la humedad es crítica para garantizar la estabilidad y conservación del producto. Además, la mejora observada indica que esta estrategia no solo optimiza la funcionalidad del material, sino que también abre una línea de investigación con gran potencial, orientada al desarrollo de biomateriales avanzados con propiedades barrera mejoradas.

En consecuencia, la incorporación de aditivos inorgánicos se perfila como una solución prometedora para ampliar el rango de aplicaciones de los biopolímeros, manteniendo su carácter sostenible y adaptándolos a los requisitos técnicos del mercado.

RESULTADOS PERMEABILIDAD AL OXÍGENO

Muestra	Valor promedio y desviación estándar (cc*cm/m ² *día*atm)
PLA	2.4±0.1
PLA/ADITIVO 2	8.1±0.5
PLA/ADITIVO 2 mezcla 1	2.5±0.0
PLA/ADITIVO 2 mezcla 1 + inorg 1	2.8±0.3
PLA/ADITIVO 2 mezcla 1 + inorg 2	2.6±0.2

En este caso, la incorporación del compuesto orgánico no produjo un incremento significativo en la barrera al oxígeno. Sin embargo, la mezcla presenta potencial de optimización, especialmente en lo referente a la dispersión homogénea de la matriz polimérica con los dos aditivos (orgánico e inorgánico).

Una mejor dispersión podría favorecer la creación de una estructura más compacta y reducir los caminos de permeación, lo que impactaría positivamente en las propiedades barrera. Este aspecto abre una línea de trabajo orientada a ajustar parámetros de procesado y compatibilización, así como a explorar técnicas de modificación superficial o el uso de agentes de acoplamiento para mejorar la interacción entre fases.

En conclusión, aunque los resultados actuales no muestran mejoras en la barrera al oxígeno, la evidencia sugiere que con una optimización adecuada, la formulación podría alcanzar propiedades funcionales superiores, manteniendo su carácter sostenible y competitivo.

RESULTADOS OBTENCIÓN DE ENVASES

Con las diferentes mezclas desarrolladas se lograron fabricar envases mediante tecnología blow molding, lo que confirma la viabilidad industrial de los biomateriales estudiados. Este resultado es especialmente relevante porque demuestra que las formulaciones no solo son procesables en condiciones reales, sino que pueden cumplir con los requisitos funcionales para aplicaciones en packaging sostenible mediante un proceso de optimización necesaria para cada aplicación y producto que se necesite desarrollar.

Además, se incluye una imagen representativa de los envases obtenidos, que evidencia la correcta conformación y acabado superficial alcanzado en los prototipos. La obtención de estos envases valida la estrategia seguida en el proyecto y refuerza la capacidad de los materiales para sustituir polímeros convencionales en procesos de transformación habituales.

Este hito, junto con las mejoras en propiedades barrera y la optimización de la procesabilidad, posiciona estas soluciones como una alternativa competitiva y escalable para la industria del envasado, especialmente en sectores como cosmética y alimentación.

