

ReciPOL

DOSSIER

Nuevas tecnologías para el acondicionamiento y descontaminación de residuos de poliolefinas para envases de detergencia



Desarrollo

Envase de detergencia fabricado con poliolefinas recicladas y descontaminadas con propiedades mejoradas.

Reto

El sector del packaging debe enfrentar el desafío de cumplir las nuevas normativas de sostenibilidad, lo que implica aumentar las tasas de reciclaje, mejorar la calidad de los materiales reciclados y reducir la dependencia de materiales de origen fósil.

La eliminación de contaminantes en poliolefinas reviste complejidad debido a su mayor migración interna y a su baja estabilidad térmica, que genera productos de degradación. Estas dificultades se agravan con los ciclos de reciclado, lo que puede limitar su aplicación en sectores con mayores requisitos de calidad.

Características



Material de partida: residuos de poliolefinas

Tecnología de pretratamiento: triturado, lavado, flotación y secado

Tecnología de descontaminación: vapor de agua

Tecnología de transformación: extrusión-soplado

Formato: botella, adaptable a otros formatos

Destinos: aplicaciones de detergencia

El proyecto **ReciPOL**, "Desarrollo de nuevas tecnologías para la limpieza y descontaminación de poliolefinas," financiado por el IVACE+i con fondos FEDER y ejecutado por ITENE entre junio de 2023 y junio de 2024, surge para responder a la demanda de material reciclado. Su enfoque está en desarrollar tecnologías innovadoras para el acondicionamiento, descontaminación y transformación de poliolefinas con el fin de obtener materiales reciclados de alta calidad.

En el proyecto **ReciPOL** se ha abordado la **descontaminación** de residuos de poliolefinas, que actualmente se destinan a vertederos, incineración o aplicaciones de bajo valor. Para ello, se ha evaluado distintos procesos y tipos de residuos de poliolefinas en todas las etapas que suelen realizarse en una línea típica de reciclado, desde la gestión de residuos, su reciclado hasta la transformación en productos reciclados destinados a la cosmética y/o detergencia.

Para lograr estos objetivos, se han llevado a cabo las siguientes líneas de actuación:

- Línea 1. Análisis de contaminantes de poliolefinas posconsumo, preparación de la contaminación controlada o **challenge test**.
- Línea 2. Desarrollo de procesos de **pretratamiento** y **descontaminación** de poliolefinas.
- Línea 3. **Validación** del procesado de material descontaminado.

Resultados

Mapeo de contaminantes en residuos de poliolefinas

El objetivo de esta primera fase de trabajo fue **analizar los contaminantes** presentes en los residuos posconsumo para determinar las mejores condiciones de acondicionamiento y descontaminación posterior.

Dado que la contaminación es tanto física como química, se realizaron diferentes análisis para determinar la composición. Para determinar las **propiedades físico-químicas** se emplearon técnicas de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Calorimetría diferencial de barrido (DSC), Análisis termogravimétrico (TGA), densidad aparente, degradación y tamizado.

La caracterización química de las diferentes muestras incluyó la identificación de **NIAS** o sustancias no añadidas intencionadamente mediante técnicas instrumentales que permiten el análisis de sustancias volátiles, semivolátiles y no volátiles.

Evaluando la frecuencia de aparición de contaminantes en muestras reales de empresas recicladoras colaboradoras en el proyecto y analizando datos bibliográficos se han identificado los contaminantes que más aparecen y los más críticos. Estos fueron utilizados en la contaminación controlada para determinar la eficiencia de los procesos de eliminación de contaminantes.

Los contaminantes físicos más comunes en los flujos de residuos posconsumo de HDPE y PP fueron PET (2%), film de polietileno, resinas, espumas poliuretánicas, pegamentos, elastómeros, papeles e improprios metálicos.

Los contaminantes **volátiles** más típicos obtenidos han sido pineno, propianato de isobornilo, vertenex, acetato de vertilo, limoneno, eucaliptol, propilenglicol, acetato de bornilo, etilbenceno, triacetín, 1,5-dimetil-1,5-ciclooctadieno, acetato de metilo y aldehídos. En cuanto a compuestos **semivolátiles**, los más identificados fueron cetonas y ésteres. Y, por último, respecto a los compuestos **no volátiles**, se identificaron ftalatos, cetonas, bisfenol A, F y S, anilina, parabenos, ácidos, antioxidantes y estabilizadores. Algunos de ellos son los productores de malos olores y tóxicos.

Optimización del proceso de contaminación controlada

Para evaluar la eficacia de los procesos de descontaminación desarrollados en el proyecto ha sido necesario llevar a cabo un ensayo específico llamado challenge test. El ensayo consiste en contaminar una muestra de material con una combinación de compuestos químicos a una concentración determinada y conocida, someterlo a la descontaminación y, una vez finalizado, calcular el porcentaje de eficacia del proceso.

En este sentido, en el marco del proyecto **ReciPOL**, se ha desarrollado la metodología de challenge test adaptada para las poliolefinas. Para ello, en primer lugar, en base a los resultados del mapeo de los contaminantes se han seleccionado los compuestos químicos que mejor representan la amplia gama de sustancias que pueden estar presentes en las poliolefinas como contaminantes. En segundo lugar, se ha procedido a estudiar la concentración óptima de cada uno de estos compuestos, así como las condiciones de ensayo que maximicen la retención de los compuestos. El desarrollo de la metodología se ha servido de datos relevantes obtenidos de los ensayos de mapeo de contaminantes en muestras de poliolefinas de distinto origen, así como de información preexistente sobre otros polímeros.



Desarrollo de procesos de pretratamiento y descontaminación

En desarrollo de procesos pretratamiento y la descontaminación de poliolefinas y la optimización de su escalado, se realizaron múltiples análisis, utilizando muestras reales posconsumo y muestras contaminadas controladamente.

Inicialmente, se evaluaron 3 técnicas de descontaminación a escala laboratorio: **ozono, vapor de agua y CO2 supercrítico** utilizando muestras contaminadas controladamente. Se obtuvo un rendimiento de eliminación de contaminantes media del 78,1% aplicando la descontaminación con ozono, 83,3% mediante vapor de agua y 88% usando CO2 supercrítico, confirmando así las conclusiones anteriormente obtenidas.

Con el objetivo de verificar la eficiencia de la descontaminación en muestras contaminadas controladamente, se repitió el ensayo con las muestras de HDPE posconsumo reales (ver Tabla 1). Los resultados casi se replicaron y el CO2 supercrítico mostró la mejor eficacia. Sin embargo, se seleccionó como mejor opción la tecnología de arrastre de contaminantes a través de vapor de agua debido a las dificultades de escalado y los altos requerimientos energéticos del CO2 supercrítico, que limitaban su escalabilidad después del estudio tecnoeconómico que se realizó del proyecto.

Tabla 1. Eliminación de contaminantes por tecnología.

Tecnología	Eliminación de contaminantes optimizada (%)	Escalabilidad
Pretratamiento: Trituración + lavado	45	Alta 
Ozono	58	Alta 
Vapor de agua	85	Alta 
CO ² supercrítico	90	Baja 

En base a estos resultados a escala de laboratorio, en el proyecto se diseñó un equipo prototipo piloto versátil para descontaminar con vapor de agua, escalando el proceso y sirviendo como prototipo para su validación. Este diseño acerca la tecnología a una escala que puede ser implementada en plantas recicladoras y de transformación.



En el equipo diseñado la descontaminación se lleva a cabo introduciendo una corriente de vapor directamente sobre las escamas de plástico contaminadas. Este proceso es fundamental para eliminar cualquier residuo o impureza que pueda haber quedado adheridos a las escamas durante etapas anteriores del pretratamiento. Durante el diseño del equipo se realizaron múltiples ensayos de **descontaminación** con la finalidad de optimizar la eficiencia de este. Para ello, se estudiaron parámetros como la temperatura del vapor de agua, el tamaño de partícula de la muestra y tiempos de residencia.

Una vez establecidas las condiciones de operación y características del equipo, se procedió a realizar ensayos de descontaminación para muestras posconsumo reales, procedentes de las empresas recicladoras colaboradoras en el proyecto lográndose una **eliminación de contaminantes del 80%**. Se realizaron también ensayos con muestras contaminadas controladamente para cuantificar de forma precisa la eliminación de contaminantes, lográndose una eliminación de contaminantes cerca de 70% validando así el proceso de descontaminación seleccionado para tratamiento a escala industrial.

Figura 1. Equipo de descontaminación de vapor de agua a escala piloto.

Validación y transformación en botella

Tras la optimización de la descontaminación, se validó el procesado del material a escala piloto para determinar las modificaciones necesarias y los parámetros de procesado que optimicen la descontaminación de poliolefinas recicladas.

Según las propiedades de los materiales reciclados, se seleccionaron aditivos para mejorar la procesabilidad y propiedades. Se diseñaron formulaciones obtenidas mediante compounding, ajustando los parámetros de procesado para optimizar la descontaminación de poliolefinas recicladas y las características del envase.

Tras el compounding se caracterizó la granza obtenida con el rHDPE comparándola con granza de HDPE virgen utilizada como referencia.

Tabla 2. Comparativa de tracción de la granza de HDPE virgen y reciclado.

Formulación	Tracción (ISO 527)		
	Módulo Young (GPa)	Resistencia máxima (MPa)	Elongación(%)
HDPE virgen	1,6±0	33±1	6±0
rHDPE posconsumo industrial	1,4±0	33±1	11±0
rHDPE posconsumo doméstico	1,4±0	30±1	9±1





Los materiales reciclados muestran una resistencia a tracción similar al material virgen. Se observa una flexibilidad ligeramente mayor en ambas referencias recicladas, posiblemente debido a la aparición de cadenas poliméricas más cortas resultantes de la degradación producida en el proceso de reciclado.

Con la granza obtenida, se realizaron ensayos de extrusión de lámina plana para la transformación del material, obteniendo los siguientes resultados de tracción y fluidez:

Tabla 3. Comparativa de tracción y fluidez de lámina plana de HDPE virgen y reciclado con distintos aditivos.

Formulación	Tracción (ISO 527)			
	Módulo Young (GPa)	Resistencia máxima (MPa)	Elongación(%)	MFI (190°C; 21,6 Kg)
HDPE virgen	1,9±0,1	27±1	743±47	30±0
rHDPE + ADITIVO 1 + ADITIVO 2	0,8±0,1	25±0	278±272	37±0
rHDPE + ADITIVO 3	0,8±0	25±1	236±242	39±0
rHDPE + ADITIVO 4	0,9±0,1	21±0	60±3	44±0
rHDPE + ADITIVO 5	0,7±0	22±0	95±10	43±0
rHDPE + ADITIVO 4 + ADITIVO 3	N/A	N/A	N/A	64±0
rHDPE + X1% ADITIVO 6+ ADITIVO 3	0,7±0	21±0	155±12	30±1
rHDPE + X2% ADITIVO 6 + ADITIVO 3	0,7±0,1	22±1	487±57	20±1

Los materiales aditivados muestran una resistencia a la tracción y flexibilidad menor que el material virgen, pero dentro de los límites aceptados para esta aplicación. En cuanto al índice de fluidez, se descartaron aquellas formulaciones en que se detectó un incremento muy elevado y que limitaba su uso en la aplicación de transformación final.

Los materiales aditivados muestran una resistencia a la tracción y flexibilidad menor que el material virgen, pero dentro de los límites aceptados para esta aplicación. En cuanto al índice de fluidez, se descartaron aquellas formulaciones en que se detectó un incremento muy elevado y que limitaba su uso en la aplicación de transformación final.

Las dos formulaciones que mejores resultados ofrecieron se validaron mediante extrusión soplado de cuerpo hueco, bajo las siguientes condiciones de proceso:

- Temperaturas de husillo entre 140°C y 160°C.
- Velocidad husillo: 120 rpm.
- Temperatura cabezal entre 150°C y 160°C.
- Tiempo de soplado: 8s.

Los dos materiales se comportaron adecuadamente sin variaciones durante el procesado de las muestras.



Figura 2. Botella reciclada de HDPE posconsumo.



Validación en entorno industrial de la descontaminación y transformación.

Para validar en entorno industrial los procesos estudiados, las empresas colaboradoras del proyecto ejecutaron y analizaron los procesos desarrollados en el proyecto, coordinando esfuerzos entre recicladores; Manc Recyclaplast, 286Evergreen y Trans Sabater, y transformadores; Delplas y SPB; que cubrían toda la cadena de valor del reciclado. El principal objetivo fue acercar la tecnología al tejido empresarial de la Comunitat Valenciana y realizar un estudio técnico-económico de los procesos desarrollados.

Las empresas cubren toda la cadena de valor del reciclado, objetivo del proyecto. Manc Recyclaplast validó el pretratamiento optimizado, 286Evergreen transformó el material pretratado a granza con los parámetros seleccionados y posteriormente fue descontaminado en ITENE mediante el equipo de vapor de agua diseñado, seguido por una validación de la transformación final.

Por otro lado, se pretrataron residuos posconsumo de Trans Sabater en ITENE y, posteriormente, fueron descontaminadas en el equipo piloto de vapor de agua diseñado. El residuo descontaminado se extruyó en las instalaciones de Trans Sabater con los aditivos y parámetros seleccionados. Esta granza mejorada fue enviada a los dos envasadores para realizar las pruebas de extrusión-soplado en Delplas y SPB.

Figura 3. Botella 1L reciclada de HDPE posconsumo validada en Delplas.

Conclusiones

La nueva legislación plantea la descontaminación de poliolefinas como un reto para aumentar las tasas de reciclado de plásticos e incrementar el contenido de reciclado en envases con altos requisitos de calidad. El proyecto ReciPOL ha trabajado en el desarrollo de tecnologías de descontaminación en poliolefinas con resultados prometedores que incluyen el desarrollo de un nuevo equipo de descontaminación mediante vapor de agua, la obtención de descontaminaciones a una escala piloto de hasta un 80% y la validación industrial de la descontaminación y transformación, cubriendo todos los actores principales de la cadena.

La integración de estas tecnologías en el mercado crea nuevas cadenas de valor y oportunidades industriales, esenciales debido al alto volumen de residuos generado y la demanda creciente de materiales reciclados. Los avances en estos proyectos impulsan la economía circular, convirtiendo residuos plásticos en materias primas secundarias de alta calidad, cerrando el ciclo y transformando residuos en recursos valiosos.



Si te ha interesado este desarrollo y quieres saber más contacta con transferencia.tecnologica@itene.com

PROYECTO DESARROLLADO POR:



FINANCIACIÓN:



GENERALITAT
VALENCIANA



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU