CONAMA 2026

PROYECTO REALIZE: DEL RESIDUO AL RECURSO

Valorización de poliuretano procedente de calzado usado en mobiliario urbano

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE
2026

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor principal de la comunicación: Pablo Tovillas Greca. Coordinador del Área de Sostenibilidad y Materiales Avanzados. NOVEX.

Otros Autores: María Cordón Montiel. Técnico del Área de Sostenibilidad y Materiales Avanzados. NOVEX.

Entidades colaboradoras: NOVEX y FAL Calzados de Seguridad S.A., SOLTECO.

Índice

1. Contexto y objetivos 1

2. Metodología 2

3. Resultados y demostrador 3

4. Economía circular y ODS 5

5. Conclusiones y bibliografía 5

1. Contexto y objetivos

1.1. Resumen

El proyecto REALIZE, desarrollado mediante la colaboración entre NOVEX y FAL Calzados de Seguridad y financiado por la Agencia de Desarrollo Económico de La Rioja (ADER), aborda la valorización de componentes procedentes de calzado al final de su vida útil mediante su reincorporación como materia prima secundaria en un nuevo producto. El trabajo se centra en residuos de suelas y entresuelas y estudia su transformación para fabricar materiales destinados a mobiliario exterior. La validación industrial de la solución se realizó con la participación de SOLTECO.

La propuesta parte de una dificultad práctica: el calzado fuera de uso contiene distintas fracciones de material que no presentan el mismo comportamiento durante el triturado, la formulación ni el procesado posterior. Por ello, el proyecto no plantea una incorporación directa del residuo sin acondicionamiento previo, sino una secuencia de clasificación, preparación, ensayo a escala de laboratorio y validación industrial.

El demostrador final fue un banco urbano fabricado con material que incorpora residuo de poliuretano (PU) recuperado de suelas de calzado usado. De esta forma, una fracción que ha agotado su función inicial se introduce en una nueva cadena de valor y se destina a una aplicación de mayor duración.

1.2. Objetivos

El objetivo general de REALIZE es demostrar la viabilidad técnica de una ruta de valorización material para residuos de calzado al final de su vida útil, desde su recuperación hasta su incorporación en un producto de mobiliario exterior.

- Establecer un protocolo de recogida, clasificación, troquelado y triturado del calzado usado, diferenciando las principales fracciones presentes en suelas y entresuelas.
- Formular compuestos termoplásticos con material reciclado y obtener probetas a escala de laboratorio para evaluar su comportamiento.
- Comparar la procesabilidad de las fracciones de caucho, poliuretano y mezclas de residuos, y seleccionar la alternativa más adecuada para el escalado.
- Trasladar la formulación seleccionada al proceso industrial y fabricar un demostrador de mobiliario urbano.

2. Metodología

2.1. Preparación y clasificación del residuo

El trabajo comenzó con la recogida de calzado de FAL al final de su vida útil. Las suelas y entresuelas se clasificaron en función del material identificado y se sometieron a operaciones de troquelado y triturado. Para los ensayos posteriores se consideraron tres corrientes: caucho, poliuretano (PU) y una mezcla de materiales.

El acondicionamiento del residuo fue una etapa necesaria para obtener una granulometría y una presentación compatibles con la preparación de compuestos termoplásticos. En las condiciones finales de laboratorio se empleó un doble triturado para las tres fracciones estudiadas.



Figura 1. Ejemplo de componentes de calzado separados y residuo triturado utilizado en el desarrollo experimental.
Fuente: Proyecto REALIZE.

2.2. Desarrollo a escala de laboratorio

A partir de las fracciones trituradas se formularon compuestos termoplásticos y se fabricaron probetas para estudiar las condiciones de procesado. La optimización se realizó modificando la temperatura, la presión y el tiempo de conformado hasta obtener probetas estables para cada tipo de residuo.

Tabla 1. Condiciones optimizadas para la preparación de las probetas finales.

Material	Pretratamiento	Temperatura	Presión	Tiempo
Caucho	Doble triturado	180 °C	150 kg/cm²	10 min
PU	Doble triturado	170 °C	160 kg/cm²	12 min
Mix	Doble triturado	180 °C	150 kg/cm²	10 min

Las probetas obtenidas se caracterizaron mediante medidas de dureza Shore A y densidad. Estos parámetros se utilizaron como indicadores comparativos para comprobar la reproducibilidad de las muestras y apoyar la selección de las formulaciones más adecuadas para continuar el proceso de escalado.

3. Resultados y demostrador

3.1. Resultados a escala de laboratorio

Las tres fracciones estudiadas pudieron transformarse en probetas a escala de laboratorio empleando las condiciones optimizadas. Los resultados de dureza y densidad muestran diferencias entre materiales, lo que confirma la necesidad de considerar cada fracción por separado antes de plantear su incorporación a un proceso industrial.

Tabla 2. Valores medios de dureza y densidad de las probetas obtenidas.

Material	Dureza media (Shore A)	Densidad media (g/cm³)
Caucho	91	0,92
PU	87	0,92
Mix	96	0,97

La mezcla presentó la mayor dureza y densidad de las tres opciones, mientras que el PU mostró una dureza inferior y una densidad similar a la del caucho. La evaluación del proyecto no se limitó a estos valores: la decisión de escalado se basó también en el comportamiento durante el proceso industrial.

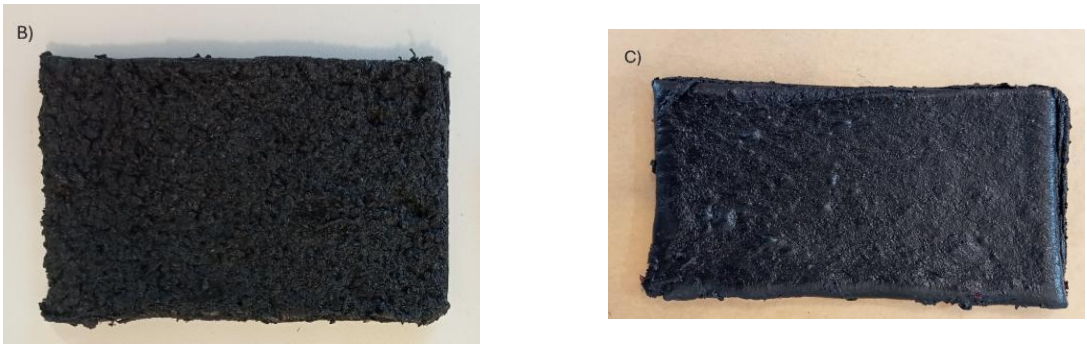


Figura 3. Ejemplos de probetas de PU y mezcla obtenidas durante la fase de laboratorio.
Fuente: Proyecto REALIZE.

3.2. Escalado y procesabilidad industrial

Una vez completada la fase de laboratorio se estudió la viabilidad de incorporar las distintas fracciones al proceso industrial de fabricación de madera plástica. En las pruebas realizadas, la fracción de PU mostró una procesabilidad adecuada para continuar el escalado, mientras que el caucho no resultó viable bajo las condiciones industriales ensayadas.

La formulación seleccionada incorporó un 5 % de residuo de calzado usado en el proceso industrial de SOLTECO. El material se procesó para obtener perfiles y piezas destinadas a mobiliario exterior, validando la transferencia desde la preparación del residuo y la formulación a escala de laboratorio hasta la fabricación de un producto real.

3.3. Demostrador final: banco urbano

El demostrador final del proyecto fue un banco urbano para zonas de descanso. En su fabricación se emplearon elementos producidos con la formulación industrial que incorpora residuo de PU procedente de suelas de calzado fuera de uso. El demostrador permite visualizar la ruta completa de valorización: un residuo del sector del calzado se acondiciona, se formula con una matriz termoplástica y se transforma en un producto de mobiliario exterior.



Figura 4. Incorporación del residuo al proceso industrial y banco urbano obtenido como demostrador final.
Fuente: Proyecto REALIZE.

El resultado confirma que la selección del material y su procesabilidad son determinantes. No todas las fracciones ensayadas a escala de laboratorio fueron aptas para la fabricación industrial, por lo que el escalado actuó como una fase de validación adicional y permitió concentrar el desarrollo en el PU.

3.4. Principales resultados del proyecto

- Se estableció un protocolo de recogida, clasificación y triturado del calzado al final de su vida útil en función de los materiales presentes en suelas y entresuelas.
- Se desarrollaron formulaciones termoplásticas y se obtuvieron probetas a escala de laboratorio con propiedades adecuadas para continuar la evaluación.
- El PU fue la fracción seleccionada para el escalado por su comportamiento durante las pruebas de procesabilidad industrial.
- Se incorporó residuo de calzado usado al proceso industrial y se fabricó un banco urbano como demostrador final.

4. Economía circular y ODS

4.1. Contribución a la economía circular

REALIZE plantea una valorización material en cascada: el residuo no vuelve a convertirse en calzado, sino que se utiliza como materia prima secundaria en otra cadena de valor. Este enfoque permite aprovechar una fracción de PU que ya no puede cumplir su función original y destinarla a un producto de mobiliario exterior con una vida de uso diferente.

La colaboración entre NOVEX y FAL ha permitido conectar el conocimiento sobre materiales y procesado con la generación real del residuo de calzado. La participación de SOLTECO en la fase industrial ha completado la cadena de demostración y ha permitido comprobar la compatibilidad del material reciclado con un proceso de fabricación existente.

La información disponible del proyecto demuestra la viabilidad técnica de la valorización, pero no incluye una cuantificación de la reducción de huella de carbono, consumo de materias primas o impacto ambiental mediante análisis de ciclo de vida. Por este motivo, los beneficios ambientales se plantean como una consecuencia potencial de la sustitución parcial de materia prima virgen y del aprovechamiento del residuo, no como una reducción ambiental cuantificada.

4.2. Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados

Tabla 3. Relación del proyecto REALIZE con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

ODS	Relación con REALIZE	Grado de relación
ODS 12. Producción y consumo responsables	Valorización de residuos de calzado y reincorporación del PU como materia prima secundaria en un nuevo producto.	Directa
ODS 9. Industria, innovación e infraestructura	Desarrollo y validación de una ruta tecnológica desde el tratamiento del residuo hasta su incorporación a un proceso industrial.	Directa
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles	El demostrador final es un elemento de mobiliario urbano destinado a zonas de descanso.	Directa
ODS 13. Acción por el clima	La sustitución parcial de materias primas vírgenes puede reducir impactos asociados a la producción de materiales, aunque el proyecto no cuantifica esta contribución.	Complementaria
ODS 17. Alianzas para lograr los objetivos	Colaboración entre NOVEX, FAL y el agente industrial responsable de la fabricación del demostrador.	Complementaria

5. Conclusiones y bibliografía

5.1. Conclusiones

El proyecto REALIZE ha demostrado una ruta completa para valorizar residuos de calzado al final de su vida útil, desde la preparación y clasificación de las fracciones hasta su utilización en un producto fabricado a escala industrial. El trabajo confirma que la valorización de este tipo de residuos requiere diferenciar los materiales y evaluar su procesabilidad, ya que el comportamiento observado en laboratorio no garantiza por sí solo la viabilidad del escalado.

Entre las fracciones estudiadas, el poliuretano mostró el mejor encaje con el proceso industrial evaluado y permitió fabricar el demostrador final. La incorporación de residuo de PU en un banco urbano muestra una alternativa práctica para conectar el sector del calzado con otras aplicaciones de mayor duración, sin atribuir al proyecto beneficios ambientales que todavía no han sido cuantificados.

La experiencia obtenida también identifica líneas de continuidad claras: aumentar progresivamente el contenido de residuo cuando la procesabilidad lo permita, ampliar la caracterización mecánica y de durabilidad del material final y cuantificar los beneficios ambientales mediante herramientas como el análisis de ciclo de vida.

5.2. Bibliografía

[1] Proyecto REALIZE (2026): “Reciclaje de calzado usado al final de su vida útil y desarrollo de eco-circularidad con su aplicación en la fabricación de mobiliario para zonas de descanso”. Presentación técnica del proyecto. FAL Calzados de Seguridad S.A. / NOVEX.

[2] Naciones Unidas (2015): “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”. Resolución A/RES/70/1 de la Asamblea General.