

REVALORIZACIÓN SOSTENIBLE DE DESECHOS DE ALFOMBRAS BAJO UN ENFOQUE BASADO EN LOS PRINCIPIOS DE LA ECONOMÍA CIRCULAR

SUSTAINABLE REVALORIZATION OF CARPET WASTE UNDER AN APPROACH BASED ON CIRCULAR ECONOMY PRINCIPLES

Flores Velázquez Roberto¹, Lara Ruíz Nadia², Hernández Jaimes Belem Gabriela³

<https://doi.org/10.6117/ipsutec.v8i2.380>

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos, roberto.flores@uaem.mx, <https://orcid.org/0000-0001-6908-9822>.

²Universidad Autónoma del Estado de Morelos, nadia.lara@uaem.mx, <https://orcid.org/0000-0001-6167-9000>.

³Universidad Autónoma del Estado de Morelos, belem.hernandez@uaem.mx, <https://orcid.org/0000-0002-3866-3593>.

Resumen -- La disposición sustentable de desechos industriales se ha transformado en una prioridad mundial para disminuir su efecto nocivo en el medio ambiente. En particular, la industria de las alfombras genera gran cantidad de residuos a pesar de no estar completamente verificado a nivel mundial, y solo ciertos países, como Estados Unidos y Reino Unido, han implementado medidas para combatir esta problemática. En el mejor de los casos, estos residuos acaban en rellenos sanitarios, donde experimentan una degradación natural, y los subproductos producidos son tratados correctamente. No obstante, en la mayoría de las situaciones, se lanzan al medio ambiente en basureros contribuyendo a la contaminación ambiental de aire, suelo y agua, además de ser un derroche de recursos. Por lo antes mencionado, se han explorado opciones para revalorar estos desechos, y la economía circular brinda una respuesta sustentable que no solo disminuye el efecto en el medio ambiente, sino que también produce ventajas económicas y sociales. Este documento investiga cómo la valoración de los desechos de alfombras puede convertir un problema en una oportunidad, subrayando su relevancia para la sostenibilidad. Se analizan algunos procesos para medir su circularidad mediante procedimientos establecidos y aceptados globalmente, como son el Índice de Circularidad de Materiales de la Fundación Hellen MacArthur, el Kit de herramientas de Economía Circular. Finalmente, se hace un análisis de la aportación que tienen estos procesos a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Palabras Clave: desechos de alfombra, economía circular, índice de circularidad, objetivos de desarrollo sostenible, revalorización.

Abstract -- Sustainable disposal of industrial waste has become a global priority to reduce its environmental harm. In particular, the carpet industry generates a large amount of waste, although it is not fully verified worldwide, and only certain countries, such as the United States and the United Kingdom, have implemented measures to combat this problem. At best, this waste ends up in landfills, undergoing natural degradation, and the by-products produced are adequately treated. However,

in most situations, it is dumped into the environment, contributing to environmental pollution of air, soil, and water and being a waste of resources. For the aforementioned reasons, options have been explored to revalue this waste, and the circular economy provides a sustainable response that reduces the effect on the environment and produces economic and social advantages. This paper investigates how the valorization of carpet waste can turn a problem into an opportunity, highlighting its relevance for sustainability. Some processes are analyzed to measure their circularity using established and globally accepted procedures, such as the Materials Circularity Index of the Hellen MacArthur Foundation and the Circular Economy Toolkit. Finally, an analysis is made of these processes' contribution to the Sustainable Development Goals (SDG).

Key words – carpet waste, circular economy, circularity index, sustainable development goals, revaluation.

INTRODUCCIÓN

Las alfombras representan un desafío significativo en la gestión de residuos debido a su volumen y composición compleja. Sin embargo, su reciclaje y reutilización pueden contribuir a una economía circular. Esto implica recuperar materiales valiosos, innovar en procesos de transformación y adoptar políticas como la responsabilidad extendida del productor (REP), que obliga a los fabricantes a gestionar el ciclo de vida completo de sus productos promoviendo la sustentabilidad industrial.

La economía circular es un modelo de gestión que pretende desvincular el crecimiento económico del consumo de recursos finitos. En lugar de seguir el modelo lineal tradicional de "extraer, fabricar y desechar", la economía circular propone un ciclo cerrado donde los materiales se reutilizan, reciclan y regeneran. Este enfoque además de conservar recursos valiosos también reduce los desechos y minimiza el impacto ambiental [1]. Este modelo se fundamenta en principios ecológicos y filosóficos que consideran los sistemas naturales como un modelo. Por ejemplo, en la naturaleza, los desechos de un organismo se convierten en recursos para otros, generando un ciclo continuo de regeneración. Este

paradigma ha sido adaptado para la gestión de recursos en la industria, promoviendo un uso más eficiente y sustentable de los materiales.

Las alfombras son productos de uso diario que, al final de su vida útil, presentan retos importantes para su disposición final, ya que se componen de una combinación de fibras sintéticas como nylon, polipropileno, fibra de vidrio, caucho y fibras naturales, adhesivos y rellenos inorgánicos persistentes que dificultan su reciclaje. La Figura 1 muestra los componentes característicos de las alfombras. El nylon, en particular, es altamente valorado por su capacidad para ser reciclado y convertido en nuevos hilos textiles. El polipropileno, utilizado en la base de las alfombras, puede transformarse en nuevos productos plásticos, mientras que la fibra de vidrio se reutiliza en materiales aislantes. Las fibras naturales, como la lana, pueden usarse como composta o reutilizarse, y el caucho y látex pueden ser reciclados o usados para generar energía.

En el Reino Unido, por ejemplo, se generan anualmente cerca de 4×10^{11} g de residuos de alfombras, de las cuales una proporción significativa termina en vertederos (ya sea rellenos sanitarios o tiraderos a suelo abierto) generando emisiones de gases de efecto invernadero a medida que los materiales se descomponen lentamente (Bird, 2014). Por lo anterior, algunos países han comenzado a prohibir el desecho de alfombras en basureros, como es el caso del Reino Unido, donde esta medida entrará en vigor en 2025 [3].

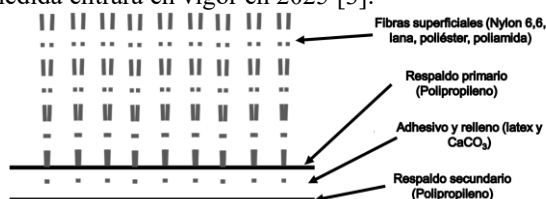


Figura 1. Componentes de la alfombra.

Fuente: adaptado de Cunningham y Miller [4]

En los Estados Unidos se han desechado más de 1.4×10^9 m² desde 1954 y la composición aproximada es 33×10^{12} g de nylon 6,6, 16×10^{12} g de polipropileno, 5.5×10^{12} g de polietileno, y 47×10^{12} g de adhesivo y relleno. De esto, el 89% de la alfombra se arroja a los basureros, el 6% se incinera y menos del 5% se recicla [4]. Además, solo el 20% del reciclado se recicla en alfombra en un circuito cerrado, y el 80% restante se recicla en otros productos menos valiosos, por lo que únicamente el 1% de los residuos de alfombras en los Estados Unidos se recicla en alfombras.

DESARROLLO

En el presente trabajo se hizo primero una revisión general de opciones para la recuperación y revalorización de los desechos de alfombras; así como la descripción de algunos ejemplos prácticos de reutilización de estos desechos.

Enseguida, se seleccionaron algunos procesos reportados en literatura para evaluar su circularidad como se describe a continuación.

Índice de Circularidad de Materiales

Para evaluar el índice de circularidad del proceso de revalorización de desechos de alfombras, se usó el Índice de Circularidad de Materiales (MCI, del inglés *Material Circularity Index*), que se determinó utilizando el programa en Microsoft Excel desarrollado por la Fundación Ellen MacArthur. De acuerdo con esta metodología el valor del MCI va de un valor 0 (altamente lineal) a 1 (altamente circular), e implica analizar el flujo de materiales primarios y reciclados, la reciclabilidad al final de la vida útil del producto y la durabilidad.

Kit de herramientas de Economía Circular

El kit de herramientas de economía circular (CET, del inglés *Circular Economy Kit*) evalúa al tipo de empresa y/o al tipo de producto. Para realizar la evaluación, es necesario responder 33 preguntas enfocadas a las características del proceso en base a 7 subáreas:

1. Diseño, fabricación y distribución
2. Uso
3. Reparación y mantenimiento
4. Reutilización y distribución
5. Refabricación y reacondicionamiento
6. Producto como servicio
7. Reciclaje

Asimismo, se tienen en cuenta tres campos:

1. Reducción de Materiales
2. Optimización de Materiales
3. Simbiosis Industrial

Cada pregunta se responde de acuerdo con la información obtenida del proceso productivo a evaluar.

El tipo de respuestas varía según la subárea, permitiendo extraer conclusiones que proporcionarán un diagrama esquemático de los potenciales de mejora de las áreas correspondientes. El cuestionario se responde en línea como se presenta en la Figura 2 [5]. La herramienta clasifica las áreas de mejora estableciendo un marco de análisis codificado por colores, definido de la siguiente manera:

- Verde: representa un alto potencial de mejora.
- Amarillo: presenta un potencial de mejora medio.
- Gris: representa un bajo potencial de mejora.

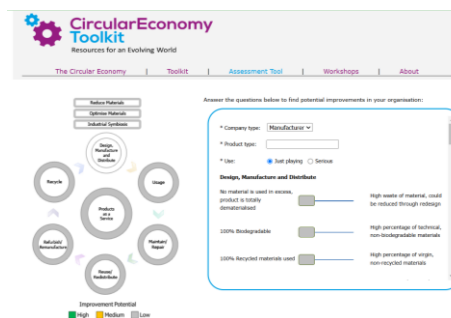


Figura 2. Kit de herramientas de Economía Circular en línea.

Fuente: circulareconomytoolkit.org [5].

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Procesos de recuperación y revalorización de desechos de alfombras

La disposición sustentable de los residuos de alfombras representa un desafío significativo debido a su composición compleja y su alto volumen de generación. Actualmente existen procesos de recuperación y estrategias de revalorización mediante los cuales es posible transformar estos desechos en recursos valiosos, contribuyendo así a la economía circular y reduciendo su impacto ambiental. En la Tabla 1 se describen los procesos de recuperación tradicionales, como la separación mecánica, el reciclaje químico y la pirólisis, junto con las opciones de revalorización, que incluyen el reciclaje mecánico y químico, la reutilización directa y la producción de energía. Estas estrategias permiten recuperar materiales útiles, como fibras sintéticas y rellenos inorgánicos, y fomentar la innovación en aplicaciones industriales, de construcción y de bienestar animal, demostrando el potencial de los residuos de alfombras como materia prima secundaria en un modelo de economía circular

Ejemplos prácticos de reutilización de desechos de alfombras

Uno de los aspectos más interesantes de la revalorización de residuos de alfombras es su reutilización en aplicaciones prácticas que transforman desechos en recursos valiosos. Al reutilizar los desechos de alfombra, se disminuye la cantidad de residuos que terminan en vertederos, reduciendo la contaminación y la extracción de recursos naturales. Además, contribuye a la eficiencia energética en la construcción y otros sectores. La Tabla 2 resalta cómo la reutilización de desechos de alfombra mediante la economía circular no solo reduce el impacto ambiental, sino que también genera beneficios económicos, sociales y técnicos en diversas aplicaciones.

Análisis del Índice de Circularidad

Para analizar la viabilidad de utilizar el MCI de la Fundación Ellen MacArthur para cuantificar la circularidad de los procesos de revalorización de desechos de alfombras, se tomaron de referencia 3 estudios reportados en literatura con distintas aplicaciones de estos desechos en la preparación de materiales compuestos. Gowayed et al. [20] fabricaron compuestos utilizando polipropileno recuperado de desechos de alfombras y una matriz de polietileno. Las muestras se moldearon por compresión con una fracción de volumen de fibra hasta del 25% de residuos de alfombras aumentando significativamente las propiedades mecánicas en comparación con el polietileno puro. En la Figura 3 se presenta el análisis de circularidad del proceso y se obtiene un MCI del 0.17. Además, los autores concluyeron esta aplicación de desechos de alfombra es poco viable debido a los costos originados

por la separación mecánica del propileno a partir de los desechos de alfombra.

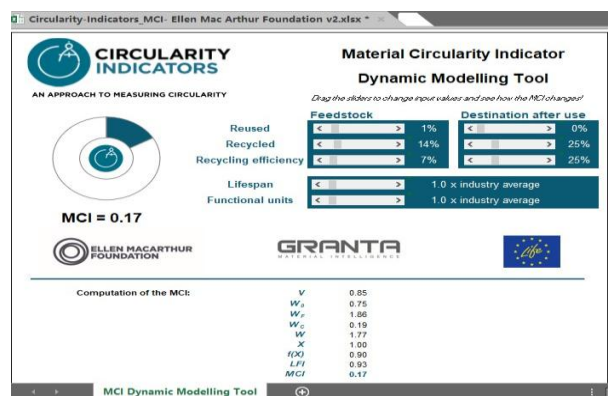


Figura 3. MCI para la fabricación de compuestos de propileno recuperado de alfombras y polietileno.

Fuente: elaboración propia (2025).

Kiziltas y Gardner [21] investigaron la preparación de materiales compuestos de celulosa microcristalina y nylon reciclado de los desechos de alfombras para utilizarse en la industria automotriz. Las muestras compuestas se moldearon por inyección. Se estudiaron diferentes propiedades mecánicas y se encontró que la mejor formulación fue con un contenido de 30 % en peso de relleno de celulosa aumentando significativamente el módulo de flexión, la resistencia a la tracción y el módulo de tracción sin cambios significativos en la resistencia a la flexión. En la Figura 4 se presenta el análisis de circularidad del proceso y se obtiene un MCI del 0.30.

Tabla 1. *Procesos de recuperación y opciones de revalorización de residuos de alfombras para promover la economía circular.*

Procesos de Recuperación	Descripción	Opciones de Revalorización
Separación mecánica	Las alfombras se trituran y sus componentes (fibras, rellenos, etc.) se separan mediante tamizado o centrifugado.	Reciclaje mecánico: Las fibras sintéticas se reutilizan en la industria automotriz, y los rellenos inorgánicos se usan en materiales de construcción.
Reciclaje químico	Procesos como la despolimerización recuperan el nylon en su forma original para su reutilización.	Reciclaje químico: Los materiales se descomponen en componentes básicos para crear nuevos productos químicos o combustibles.
Pirólisis	Proceso térmico que descompone los materiales en ausencia de oxígeno, recuperando energía y materiales útiles.	Producción de energía: Los residuos se utilizan como combustible en procesos de generación de energía.
Reutilización directa	Los desechos de alfombras se incorporan directamente en nuevos productos, como materiales de construcción.	Reutilización: Las alfombras se reacondicionan para aplicaciones menos exigentes, como superficies para equinos o rellenos para mobiliario.

Fuente: *elaboración propia* (2025)-

Tabla 2. *Aplicaciones y beneficios de la reutilización de desechos de alfombra mediante la economía circular para reducir el impacto ambiental.*

Aplicación	Beneficios y Propiedades	Impacto Ambiental y Relevancia	Referencias
Superficies ecuestres	- Mejora el bienestar de los caballos. - Reduce el polvo en establos. - Excelente amortiguación, durabilidad y propiedades antiderrapantes.	- Reduce la disposición inadecuada de residuos. - Promueve la reutilización de materiales en entornos específicos.	[6, 7]
Materiales de construcción	- Propiedades térmicas y acústicas mejoradas. - Conductividad térmica: 0.035 a 0.049 W/m·K. - Absorción de ruido superior en un amplio espectro de frecuencias.	- Extiende la vida útil de los materiales. - Contribuye a la eficiencia energética en edificios. - Reduce la necesidad de nuevos materiales aislantes.	[8, 9, 10, 11, 12, 13]
Producción de concreto	- Mejora las propiedades mecánicas y durabilidad. - Aumenta la resistencia a la compresión, tracción y flexión. - Reduce la permeabilidad de iones cloruro y mejora la resistencia a ciclos de congelación-descongelación.	- Contribuye al desarrollo de materiales de construcción sostenibles. - Reduce el uso de recursos naturales en la producción de concreto.	[14, 15, 16]
Rellenos para mobiliario	- Uso como relleno en sofás y colchones. - Refuerzo de madera contrachapada, mejorando el módulo de ruptura y elasticidad.	- Reduce el volumen de residuos enviados a vertederos. - Promueve la reutilización en la fabricación de muebles.	[17, 18]
Industria automotriz	Fabricación de componentes automotrices (paneles interiores, alfombrillas, soportes de pedales).	- Reduce la dependencia de materiales vírgenes en la industria automotriz. - Fomenta la innovación en el uso de materiales reciclados.	[19]

- Aprovecha propiedades mecánicas y de resistencia de las fibras sintéticas.

Fuente: elaboración propia (2025)

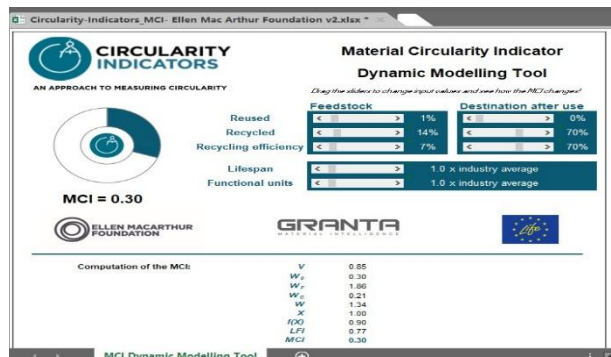


Figura 4. MCI para la fabricación de compuestos de nylon recuperado de alfombras y celulosa microcristalina.

Fuente: elaboración propia (2025).

Xantos et al. [22] desarrollaron un método para fabricar un compuesto estructural utilizando el compuesto residual de desechos de alfombras en una matriz de polietileno de baja densidad. Los desechos de alfombra tenían con una composición aproximada de 63 a 65 % en peso de carbonato de calcio, 15 a 18 % en peso de polipropileno y 12 a 15 % en peso de SBR. El proceso de fabricación consistió en una combinación de extrusión y moldeo por inyección para llenar una cavidad de molde. La resistencia a la flexión y el módulo de flexión del compuesto mejoraron al agregar los desechos de alfombra antes mencionado, lo cual se atribuyó al alto contenido de carbonato de calcio. En la Figura 5 se presenta el análisis de circularidad del proceso y se obtiene un MCI del 0.35.

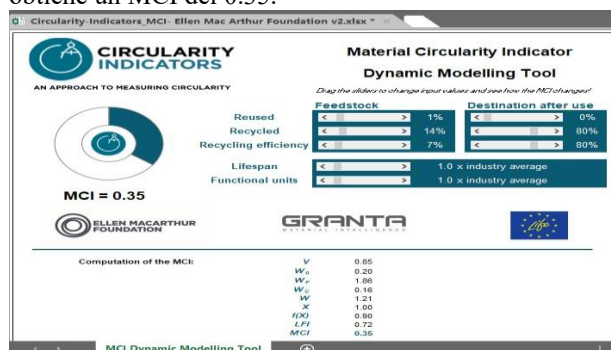


Figura 5. MCI para la fabricación de compuestos de desechos de alfombras y polietileno.

Fuente: elaboración propia (2025).

Kit de herramientas de Economía Circular

El CET se aplica en empresas donde su proceso se ha establecido a escala comercial. En la actualidad, los procesos donde se reutilizan los desechos de alfombra no operan a escala comercial, por lo que no es viable el uso de este kit de herramientas. No obstante, si es factible analizar el proceso de fabricación de alfombras de lana

con objeto de detectar áreas de oportunidad para mejorar el proceso y hacerlo más sustentable en base a los principios de la economía circular. En la Figura 6 se muestra un diagrama de flujo de la fabricación de una alfombra de lana. Una descripción detallada del proceso puede encontrarse en [23].

Evaluando la circularidad del producto de alfombra de lana terminada con el CET se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 7. Se observa un **POTENCIAL ALTO DE MEJORA** en las áreas de:

1. Reducción de materiales, ya que la empresa consume una gran cantidad de materias primas vírgenes con un desperdicio del 12 %. Este desperdicio puede reutilizarse como materia virgen ya que no presenta contaminantes por ser pre-consumo;

2. Optimización de materiales, debido a que se generan cantidades considerables de residuos. En el caso de la lana se envía a rellenos sanitarios y basureros, o en el peor de los casos, se desecha de manera clandestina al aire libre;

3. Simbiosis industrial, ya que los residuos pueden utilizarse como materia prima de otra empresa. Por ejemplo, los residuos de lana se usan para fertilizar pastizales, los cuales posteriormente alimentan el ganado ovino cerrando así el ciclo.

4. Mantenimiento/repación, la lana al ser muy durable, resiste a la fricción y mantiene una buena apariencia durante mucho tiempo;

5. Remanufactura/restauración, en las nuevas tendencias, se requiere que el fabricante de mantenimiento a las alfombras. La innovación de alfombras modulares hace que sea más simple reparar las zonas dañadas de la alfombra, evitando cambiar la alfombra por completo;

6. Reciclaje de producto, ya que deben explorarse áreas de oportunidad para mejorar las bajas tasas de reciclaje de las alfombras después de su vida útil.

7. Etapa de producto como servicio, debido a que el fabricante de alfombras y empresas ofrecen el producto y el servicio de mantenimiento pudiendo lograr en un esquema de renta para su constante renovación para evitar su obsolescencia.

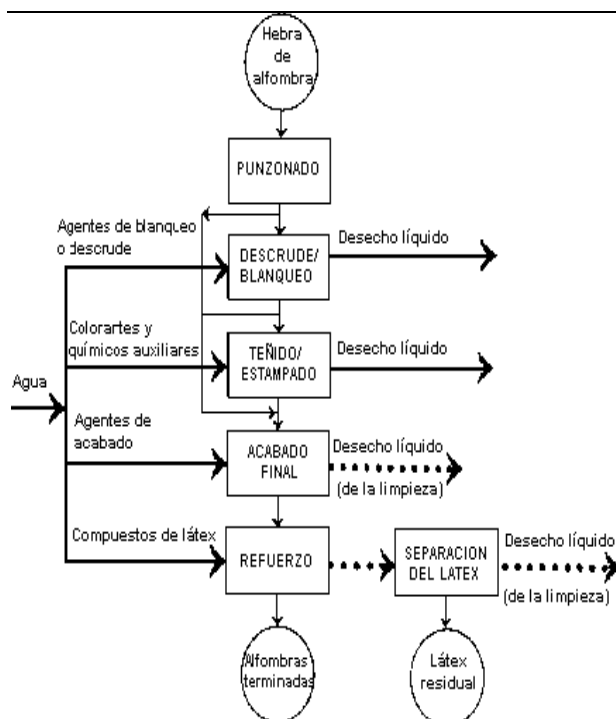


Figura 6. Diagrama de flujo de la fabricación de una alfombra de lana.

Fuente: Juárez Gómez, O. [23]

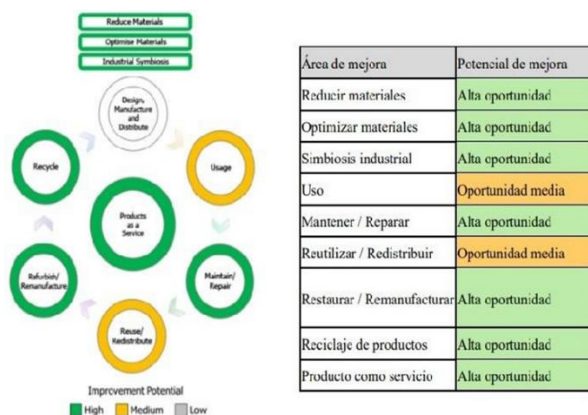


Figura 7. Resultados del CET para la fabricación de alfombras de lana.

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se observa **POTENCIAL MEDIO DE MEJORA** en las áreas de:

1. **uso**, debido a que el consumo depende del polímero seleccionado en su fabricación.
2. **reutilización/ redistribución**, en virtud de que el mercado de segunda mano no es formal y requiere de mayor infraestructura.

Impacto en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de 17 metas globales establecidas por las Naciones Unidas en 2015, con el fin de abordar los

principales desafíos sociales, económicos y ambientales del mundo. Estos objetivos buscan erradicar la pobreza, proteger el planeta y garantizar la paz y prosperidad para todas las personas. Cada ODS cuenta con metas específicas y acciones concretas para alcanzarlas antes de 2030. La revalorización de residuos de alfombras se alinea con varios de estos objetivos, especialmente aquellos relacionados con la sostenibilidad ambiental, el desarrollo de economías circulares y la innovación tecnológica como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Impacto de los procesos de recuperación y revalorización de residuos de alfombras en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

ODS	Impacto de la revalorización de residuos de alfombras
ODS 12: Producción y consumo responsables	Promueve reciclaje y reutilización, reduce desperdicio de recursos y disminuye la extracción de materias primas.
ODS 13: Acción por el clima	Evita emisiones de metano en basureros y reduce la huella de carbono al usar materiales reciclados.
ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles	Reduce desechos sólidos en basureros y fomenta economías circulares locales.
ODS 9: Industria, innovación e infraestructura	Impulsa innovación en reciclaje y diseño de productos sostenibles.
ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico	Genera empleo en reciclaje y manufactura sostenible, y reduce costos al aprovechar recursos existentes.
ODS 15: Vida de ecosistemas terrestres	Reduce extracción de recursos naturales y minimiza el impacto ambiental de los desechos en ecosistemas.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

La revalorización de los desechos de alfombras representa un avance hacia la sustentabilidad mediante la aplicación de los principios de la economía circular, reduciendo el impacto ambiental y generando beneficios económicos y sociales. El presente trabajo muestra que, a pesar de la composición compleja de las alfombras, existen diversas estrategias de recuperación y revalorización que permiten reciclar estos residuos en distintas aplicaciones. La separación mecánica, el reciclaje químico, la pirólisis y la reutilización directa son procesos que minimizan la cantidad de desechos que terminan en vertederos, y promueven la innovación en aplicaciones industriales, de construcción y de bienestar animal. Por otro lado, el MCI muestra que los procesos de revalorización de desechos de alfombras tienen un potencial de mejora en términos de circularidad, ya que existen aplicaciones viables que contribuyen a la

sostenibilidad. Asimismo, el CET permitió identificar áreas de oportunidad en la fabricación de alfombras de lana, destacando la necesidad de reducir el consumo de materias primas vírgenes y mejorar las tasas de reciclaje. Finalmente, este trabajo indica la importancia de alinear los esfuerzos de revalorización de residuos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En particular, en lo que respecta a la producción y consumo responsables, la acción por el clima, ciudades y comunidades sostenibles, innovación industrial, trabajo decente, crecimiento económico, y vida de ecosistemas terrestres.

Futuras líneas de investigación similares a la desarrollada en el presente trabajo incluyen a la evaluación de la economía circular en la industria de la confección, y en la tapicería y componentes interiores de la industria automotriz. En el caso de la industria de la confección se ha detectado un desperdicio de notable de recursos propiciando un impacto ambiental, y algunas áreas de oportunidad incluyen eliminar sustancias y microfibras no deseadas, incentivar un mayor uso de la ropa, mejorar el sector del reciclaje y eficientizar los recursos con el uso de fuentes renovables. Por su parte, en el sector automotriz, los textiles se usan en asientos, revestimientos de techos, paneles de puertas, alfombras y aislamiento. La aplicación de la economía circular implicaría diseñar estos componentes para facilitar su desmontaje y reciclaje al final de la vida útil del vehículo, así como el uso de materiales reciclados o de base biológica en su fabricación contribuyendo a la sustentabilidad de la industria.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Bocken, N. M. P., De Pauw, I., Bakker, C., & Van Der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>

[2] Zeb-Khan, A. (2023, November 30). Carpet Recycling UK reports 81% landfill diversion in the UK in 2021. Carpet Recycling UK. Recuperado de: <https://carpetrecyclinguk.com/carpet-recycling-uk-reports-81-landfill-diversion-in-the-uk-in-2021/>.

[3] DEFRA (2014). Department for Environment, Food & Rural Affairs. Annual Waste Management Report.

[4] Cunningham, P. R., & Miller, S. A. (2022). A material flow analysis of carpet in the United States: Where should the carpet go? *Journal of Cleaner Production*, 368, 133243. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133243>

[5] Circular Economy Toolkit, Circulareconomytoolkit.org. Recuperado de: <http://www.circulareconomytoolkit.org>.

[6] Kumar, J., Jaiswal, B., Kumar, K., Kumar, K., & Verma, R. K. (2023). Reuse of waste carpet into a sustainable composite. In CRC Press eBooks (pp. 230–243). <https://doi.org/10.1201/9781003291961-17>

[7] Souza, B., Van Der Heijden, R., & Benoît, J. (2023). Strength and Deformation Behavior of Equestrian Riding Surfaces Improved with Recycled Geosynthetics.

Geotechnical Testing Journal, 47(1). <https://doi.org/10.1520/gtj20220245>

[8] Ayed, R., Bouadila, S., Skouri, S., Boquera, L., Cabeza, L. F., & Lazaar, M. (2023). Recycling textile waste to enhance building thermal insulation and reduce carbon emissions: Experimentation and Model-Based Dynamic Assessment. *Buildings*, 13(2), 535. <https://doi.org/10.3390/buildings13020535>

[9] Di Schio, E. R., Ballerini, V., & Valdiserri, P. (2024). Thermal characterization of textile waste materials for reuse in the energy refurbishing of buildings. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 20, 478–483. <https://doi.org/10.37394/232015.2024.20.46>

[10] Jailani, M. E. A., & Isa, M. H. M. (2021). The application of textile waste as a sound insulation building material. In *Advances in Civil Engineering Materials* (pp. 109–115). Springer Singapore.

[11] Karmakar, S., Majumdar, A., & Butola, B. S. (2024). A sustainable recycling process and its life cycle assessment for valorising post-consumer textile materials for thermal insulation applications. *Waste Management & Research the Journal for a Sustainable Circular Economy*. <https://doi.org/10.1177/0734242x241270933>

[12] Siltumens, K., Grinfelde, I., Znots, G., Golubovs, R., & Brencis, R. (2024). Use of shredded textile waste as material for sound absorption. *Engineering for Rural Development*. <https://doi.org/10.22616/erdev.2024.23.tf190>

[13] Rubino, C., Liuzzi, S., & Martellotta, F. (2024). Exploring the potential of recycled textile panels to improve sound insulation in buildings. *Proceedings of the 10th Convention of the European Acoustics Association Forum Acusticum 2023*.

[14] Haigh, R., Sandanayake, M., Joseph, P., Yaghoubi, E., & Vrcelj, Z. (2024). The mechanical and microstructural performance of waste textile and cardboard materials in concrete. *Structural Concrete*, 25(5), 4033–4047. <https://doi.org/10.1002/suco.202301148>

[15] Idrees, M., Saeed, F., Farooq, Z., Köksal, F., & Shi, J. (2023). Production of waste carpet fiber-reinforced concrete as sustainable material. *Journal of Building Engineering*, 77, 107499. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2023.107499>

[16] Simon, A., Tripathi, A., Surehali, S., & Neithalath, N. (2023). Carpet fiber recycling in regular-use concrete mixtures and associated life cycle analysis. *Waste Management Bulletin*, 1(3), 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2023.07.005>

[17] Bartoszek, K., & Kowaluk, G. (2024). Utilization of Fibrous Mat Residues from Upholstered Furniture as Sustainable Fillers in Plywood Production. *Materials*, 17(16), 4080. <https://doi.org/10.3390/ma17164080>

[18] Mancosh, D., Przybylinski, J. P., & Murdock, D. E. (2007). Carpet waste composite. <https://patents.google.com/patent/US8278365B2/en>

[19] García-Arrieta, S., Elizetxea, C., Calle, A., Ollo, O., Múgica, M., Goikuria, E., Sarlin, E., & García, M. (2022). Recycled fibers integration in automotive components

manufactured by injection. *Revista de Materiales Compuestos*.
<https://doi.org/10.23967/r.matcomp.2022.07.049>
 [20] Gawayed, Y. A., Vaidyanathan, R., & El-Halwagi, M. (1995). Synthesis of Composite Materials from Waste Fabrics and Plastics. *Journal of Elastomers & Plastics*, 27(1), 79–90.
<https://doi.org/10.1177/009524439502700106>
 [21] Kiziltas, A., & Gardner, D. J. (2012). Utilization of carpet waste as a matrix in natural filled engineering thermoplastic composites for automotive applications. *Advanced Engineered Wood Composite (AEWC) Center, University of Maine: Orono, ME, USA*.
 [22] Xanthos, M., Dey, S. K., Mitra, S., Yilmazer, U., & Feng, C. (2002). Prototypes for building applications based on thermoplastic composites containing mixed waste plastics. *Polymer Composites*, 23(2), 153–163.
<https://doi.org/10.1002/pc.10421>
 [23] Juárez Gómez, O. (2024). Revalorización de residuos de alfombras con base en los principios de la economía circular. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, México.

	Ruíz, Belem Gabriela Hernández Jaimes
Redacción (borrador original)	Roberto Flores Velázquez, Nadia Lara Ruíz, Belem Gabriela Hernández Jaimes
Redacción (revisión y edición)	Roberto Flores Velázquez, Nadia Lara Ruíz

Tabla de Roles de Contribución

Rol	Autor(es)
Conceptualización	Roberto Flores Velázquez
Curación de datos	Nadia Lara Ruíz
Metodología	Belem Gabriela Hernández Jaimes
Administración de proyecto	Roberto Flores Velázquez
Recursos	Nadia Lara Ruíz, Belem Gabriela Hernández Jaimes
Supervisión	Roberto Flores Velázquez
Validación	Roberto Flores Velázquez, Nadia Lara



Esta obra está bajo
 una licencia internacional
 Creative Commons Atribución 4.0.