

Utilización de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida en el estudio de materiales de aislamiento térmico.

Elaine Dayanna Campo Angarita

Trabajo de Grado para obtener el título de Ingeniería Química

Director:

Fernando Viejo Abrante

Doctor en Ciencia y Tecnología de los Materiales

Codirectoras:

María Teresa Cotes Palomino

Doctora en Ingeniería Química, Ambiental y de Materiales

Ana Belén López García

Doctora en Ingeniería Química, Ambiental y de Materiales

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2022

Tabla de Contenido

Introducción	12
1 Objetivos	15
1.1 Objetivo general.....	15
1.2 Objetivos específicos:	15
2 Materiales Y Métodos	16
2.1 Definición del objetivo y alcance.....	26
2.2 Objetivo del estudio.....	27
2.3 Alcance del estudio	27
2.4 Análisis del inventario de ciclo de vida	29
2.4.1 Aislante tradicional	30
2.4.2 Aislante con residuos	50
2.5 Evaluación de impacto	59
2.5.1 Metodología IPCC.....	59
2.5.2 Metodología CML	61
2.5.3 Análisis de contribución e influencia.....	63
3 Resultados	64
3.1 Aislantes tradicionales CML.....	64
3.1.1 Corcho.....	64
3.1.2 Fibra de celulosa.....	67
3.1.3 Fibra textil.....	69
3.1.4 Comparativa: aislantes tradicionales	72
3.1.5 Análisis orientado al impacto de los aislantes tradicionales	73
3.2 Aislantes con residuos CML	75
3.2.1 Poliuretano + 50% Corcho.....	75
3.2.2 Poliuretano + 60% Corcho.....	78
3.2.3 Poliuretano + 70% Corcho.....	81

CICLO DE VIDA DE MATERIALES DE AISLAMIENTO TÉRMICO

	3
3.2.4 Comparativa: aislantes con residuos de corcho	84
3.2.5 Análisis orientado al impacto de los aislantes con residuos de corcho.....	86
3.2.6 Poliuretano + 10% fibra de algodón	86
3.2.7 Poliuretano + 20% fibra de algodón	90
3.2.8 Poliuretano + 30% fibra de algodón	93
3.2.9 Comparativa: aislantes con residuos de fibra de celulosa	96
3.2.10 Análisis orientado al impacto de los aislantes con residuos de algodón	97
3.2.11 Poliuretano + 60% fibra textil.....	98
3.2.12 Comparativa: aislantes con residuos de fibra textil	101
3.2.13 Análisis orientado al impacto de los aislantes con residuos de fibra textil.....	103
3.3 Aislantes tradicionales IPCC.....	103
3.3.1 Análisis orientado al impacto de los aislantes tradicionales	105
3.4 Aislantes con residuos IPCC.....	106
3.4.1 Corcho.....	106
3.4.2 Análisis orientado al impacto de los aislantes tradicionales	107
3.4.3 Fibra de algodón.....	108
3.4.4 Análisis orientado al impacto de los aislantes a base de fibra de algodón	109
3.4.5 Fibra textil.....	110
3.4.6 Análisis orientado al impacto de los aislantes a base de fibra de textil	111
4 Conclusiones	112
5 Posibles Líneas De Investigación Futuras	114

Lista de Tablas

Tabla 1. Categorías de impacto ambiental, unidades y explicación.....	18
Tabla 2. Etapas detalladas del ciclo de vida de la clasificación de materiales de construcción según las normas europeas	27
Tabla 3. Materiales utilizados para el panel de aislamiento térmico de corcho.....	31
Tabla 4. Materiales utilizados para el panel de aislamiento térmico de fibra de celulosa	33
Tabla 5. Materiales utilizados para el panel de aislamiento térmico de fibra textil.....	49
Tabla 6. Formulación de composites	52
Tabla 7. Propiedades de los paneles de aislamiento de pino y poliuretano	52
Tabla 8. Composición de paneles de aislamiento a partir de fibra de algodón	55
Tabla 9. Valores de conductividad térmica medidos de los paneles nylon/spandex y poliuretano.....	57
Tabla 10. Clasificación de categorías de impacto, unidad equivalente y escala geográfica	62
Tabla 11. Caracterización del aislante térmico de corcho.....	65
Tabla 12. Normalización del aislante térmico de corcho	66
Tabla 13. Caracterización del aislante térmico de fibra de celulosa	67
Tabla 14. Normalización del aislante térmico de fibra de celulosa	69
Tabla 15. Caracterización de aislante térmico de fibra textil.....	70
Tabla 16. Normalización de aislante térmico de fibra textil	71
Tabla 17. Comparativa de aislantes tradicionales	72
Tabla 18. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 50% residuos de corcho	76
Tabla 19. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 50% residuos de corcho.....	78
Tabla 20. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de corcho	79
Tabla 21. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de corcho	80
Tabla 22. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 70% residuos de corcho	82
Tabla 23. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 70% residuos de corcho.....	83
Tabla 24. Comparativa de aislantes a base de corcho	84
Tabla 25. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 10% residuos de fibra de algodón.....	87
Tabla 26. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 10% residuos de fibra de algodón	89
Tabla 27. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 20% residuos de fibra de algodón.....	91
Tabla 28. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 20% residuos de fibra de algodón	92
Tabla 29. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 30% residuos de fibra de algodón.....	93
Tabla 30. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 30% residuos de fibra de algodón.	95
Tabla 31. Comparativa de aislantes a base de fibra de celulosa	96
Tabla 32. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de fibra textil	99
Tabla 33. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de fibra textil.....	101

Tabla 34. Comparativa de aislantes a base de fibra textil.....	101
Tabla 35. Caracterización y comparativa aislante térmico de corcho.....	104
Tabla 36. Caracterización y comparativa aislante térmico de fibra de celulosa	105
Tabla 37. Caracterización y comparativa aislante térmico de fibra textil.....	105
Tabla 38. Caracterización y comparativa aislante térmico de poliuretano y 50% residuos de corcho	106
Tabla 39. Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 60% residuosde corcho	107
Tabla 40. Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 70% residuosde corcho	107
Tabla 41. Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 10% residuos de algodón.....	108
Tabla 42 Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 20% residuos de algodón.	109
Tabla 43. Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 30% residuos de algodón.....	109
Tabla 44. Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de fibra textil.	111

Lista de Figuras

Figura 1.....	54
Figura 2. Caracterización del aislante térmico corcho.....	64
Figura 3. Normalización del aislante térmico de corcho	66
Figura 4. Caracterización de aislante térmico de fibra de celulosa.....	67
Figura 5. Normalización del aislante térmico de fibra de celulosa.....	68
Figura 6. Caracterización de aislante térmico de fibra textil	70
Figura 7. Normalización del aislante térmico de fibra textil	71
Figura 8. Comparativa de aislantes tradicionales metodología CML.....	73
Figura 9. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 50% residuos de corcho	75
Figura 10. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 50% residuos de corcho.....	77
Figura 11. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de corcho.	79
Figura 12. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de corcho.....	80
Figura 13. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 70% residuos de corcho.	81
Figura 14. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 70% residuos de corcho.....	83
Figura 15. Comparativa de aislantes a base de corcho metodología CML.....	85
Figura 16. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 10% residuos de fibra de algodón	87
Figura 17. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 10% residuos de fibra de algodón.....	88
Figura 18. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 20% residuos de fibra de algodón.....	90
Figura 19. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 20% residuos de fibra de algodón.....	91
Figura 20. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 30% residuos de fibra de algodón.....	93
Figura 21. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 30% residuos de fibra de algodón.....	94
Figura 22. Comparativa de aislantes a base de algodón metodología CML.....	97
Figura 23. Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 60% fibra textil.....	98
Figura 24. Normalización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de fibra textil	100
Figura 25. Comparativa de aislantes a base de fibra textil metodología CML.....	102

Figura 26. <i>Comparativa aislantes tradicionales metodología IPCC.....</i>	104
Figura 27 <i>Comparativa de aislantes a base de corcho por metodología IPCC.....</i>	106
Figura 28. <i>Comparativa de aislantes a base de fibra de algodón por metodología IPCC....</i>	108
Figura 29. <i>Comparativa de aislantes a base de fibra textil por metodología IPCC.....</i>	110

Agradecimientos

Primeramente, doy gracias a Dios por darme vida, a mis padres, hermanos y a los profesores que han sido una gran guía en la realización de este proyecto.

Agradezco a la universidad por permitirme convertir en la profesional que tanto esperaba y por abrirme las puertas a grandes experiencias que guardare en el corazón.

Elaine Dayanna Campo Angarita

Dedicatoria

Mi tesis se la dedico a mis padres por su sacrificio y esfuerzo, por creer en mí, aun en los tiempos difíciles, siempre me dieron una voz de aliento para culminar mi carrera.

Gracias por ser los promotores de mis sueños y acompañarme en cada una de las etapas de esta vida, que sepan que cada consejo y cada palabra me guiaron a lo que soy hoy y espero ser mañana, los amo mucho.

Elaine Dayanna Campo Angarita

Resumen

Título: Utilización de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida en el estudio de materiales de aislamiento térmico

Autor: Elaine Dayanna Campo Angarita

Palabras Clave: Aislamiento, ACV, Economía circular, Sostenibilidad.

El uso desmesurado de los recursos naturales en épocas anteriores hace que hoy en día tengamos el desafío de buscar opciones enfocadas en la sostenibilidad, ahorro de energía y reducción de la contaminación ambiental. Actualmente se opta por buscar soluciones en las cuales se les dé un valor agregado a los residuos de las diferentes industrias. Este trabajo cuantifica y compara el impacto ambiental mediante el análisis de ciclo de vida (ACV) de tres materiales aislantes: corcho, fibra de celulosa y fibra textil. Para ello se utilizará el programa SimaPro, el cual permite analizar la información en diferentes áreas como energética, ambiental y económica, y realizar una comparativa de los resultados obtenidos. Para ello, se utilizaron las metodologías CML 2000 y IPCC, para obtener una visión cuantitativa de lo que implicaría la producción de los aislantes desde las diferentes categorías de impacto, como lo es la salud humana, el medioambiente, el entorno artificial y los recursos naturales. A lo largo de la investigación se utilizó la norma ISO 14040.

*Trabajo de Grado

** Facultad de Físicoquímica, Escuela Ingeniería Química. Director: Fernando Viejo Abrante, doctor en Ciencia y Tecnología de los Materiales. Tutores: María Teresa Cotes Palomino, doctora en Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales y Ana Belén López García, doctora en Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales.

Abstract

Title: Use of Life Cycle Assessment methodology in the study of thermal insulation materials*

Author: Elaine Dayanna Campo Angarita **

Key Words: Insulation, LCA, Circular economy, Sustainability, Sustainability.

The excessive use of natural resources in the past means that today we are challenged to look for options focused on sustainability, energy savings and reduction of environmental pollution. Currently, we are looking for solutions in which added value is given to waste from different industries. This work quantifies and compares the environmental impact by means of life cycle analysis (LCA) of three insulating materials: cork, cellulose fiber and textile fiber. For this purpose, the SimaPro program will be used, which allows to analyze the information in different areas such as environmental and economic energetics, and to make a comparison of the results obtained. For this purpose, the CML 2000 and IPCC methodologies were used to obtain a quantitative vision of the implications of the production of insulating materials from different impact categories, such as human health, the environment, the artificial environment, and natural resources. The ISO 14040 standard was used throughout the research.

*Degree Work

** Faculty of Physical Chemistry, School of Chemical Engineering. Director: Fernando Viejo Abrante, PhD in Materials Science and Technology. Tutors: Maria Teresa Cotes Palomino, PhD in Chemical, Environmental and Materials Engineering

Introducción

Uno de los grandes desafíos del siglo XXI es conseguir la sostenibilidad en todos los niveles de recursos naturales y energéticos. Puesto que existe una gran preocupación en estos sectores debido al mal uso de ellos en épocas anteriores. En el sector energético, su preocupación se centra en el desequilibrio entre el consumo y los recursos limitados de energía (Islam & Bhat, 2019). Para ello se requiere un uso más eficiente de energía buscando la transición hacia una economía baja en carbono, lo que conlleva a contrarrestar el cambio climático. Este cambio se logra mediante mejoras en las tecnologías existentes, como lo son las fuentes de energía renovables y vehículos eléctricos, además de invertir en infraestructuras bajas en carbono (Liobikienė & Minelgaitė, 2021). En el sector medioambiental, la preocupación se basa en el aumento poblacional y su tasa de consumo, además del aumento en vertederos debidos a productos o residuos antes del fin de la vida útil de estos (Islam & Bhat, 2019). El aumento de la tasa de crecimiento económico conduce a una mayor extracción de recursos naturales, aumento de la producción industrial y la expansión de los rendimientos agrícolas, lo que acelera la disminución de los recursos naturales. De igual forma, la sobreutilización de “rendimientos ambientales y recursos naturales” Usman, et al (2022).

A nivel global, se considera que el sector de la construcción y los automóviles son los mayores consumidores de energía. Se estima que los edificios consumen alrededor del 40% de la energía global mundial, el 25% de agua global y el 49% de los recursos globales. Los edificios son los responsables de aproximadamente un tercio de la producción de CO₂ (Islam & Bhat, 2019). En Europa los edificios son responsables del 40% del consumo energético y del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo cual la reducción de consumo de energía en los edificios es de gran importancia y un desafío político en el mundo actualmente (Comisión Europea, 2020).

Para mejorar el rendimiento energético de un edificio, se debe utilizar una buena envolvente termorresistente, ya que sin ello el consumo de energía y los impactos ambientales aumentan debido a que este representa entre el 50 y el 60% de la transferencia de calor total (Comisión Europea, 2020).

Actualmente, se estima que alrededor del 60% de los materiales de aislamiento térmico fabricados provienen de materiales fibrosos minerales o inorgánicos (lana de vidrio y lana de roca), el 30% son de materiales espumados (poliestireno expandido, poliestireno extruido, poliuretano) y el 10% restante son de otros materiales no tradicionales o compuestos (lana-madera, yeso-espuma, etc.). Los aislantes a base de lana mineral y plásticos pueden causar un efecto adverso en el medio ambiente debido a sus propiedades no renovables y no desechables. Los materiales a base de fibra de vidrio se obtienen de fuentes de sílice lo cual genera efectos cancerígenos en el cuerpo humano. De igual forma, los materiales para aislamiento que tienen una base petroquímica, generan problemas de salud humana y al medio ambiente. Estos efectos negativos de los aislantes, hace que aumente la demanda de materiales amigables con el medio ambiente (Islam & Bhat, 2019).

La necesidad de utilizar materiales de aislamiento para edificios a base de materiales naturales inofensivos y productos reciclados aumenta cada vez más. Sin embargo, son pocos los materiales que ya están presentes en el mercado, pero la mayoría de estos materiales se encuentran aún en etapa de investigación o desarrollo.

Varios investigadores a lo largo del tiempo se han encargado de determinar los impactos ambientales de la construcción de productos de aislamiento térmico utilizando el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Erlandsoon puede considerarse como el pionero en aplicar el ACV para evaluar las consecuencias energéticas y medioambientales para una vivienda con un aislamiento de pared adicional en 1997 Ingraio et al (2014). Desde entonces, la aplicación de ACV a materiales de aislamiento es cada vez más común, por ejemplo, D'Amore et al (2017),

realizó un estudio en 2004, en el cual comparaba los impactos del ciclo de vida de lana de roca, lana de papel y el lino. Al igual que se desarrollaron un análisis del desempeño energético y ambiental entre la lana de roca y poliestireno extruido, mediante ACV. (Fayos & Bovea , 2013), compararon en términos de sostenibilidad ambiental y rendimiento de aislamiento térmico a tres materiales, poliuretano, poliestireno y lana mineral.

En contexto, es evidente la necesidad de seguir investigando en esta línea y en base a esta necesidad se ha desarrollado el presenta trabajo el cual consiste en un estudio comparativo de un Análisis de Ciclo de Vida a materiales para aislamiento térmico tradicionales y otros materiales fabricados a partir de residuos industrial (corcho, fibra de celulosa y fibra textil). El estudio se realiza para exponer el beneficio medioambiental que se puede lograr por medio del reciclaje de residuos para materiales de construcción utilizando una herramienta global como lo es el ACV.

1 Objetivos

1.1 Objetivo general

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Grado es la realización del Análisis de Ciclo de Vida a materiales aislantes con el fin de establecer estrategias de mejora en el comportamiento ambiental de las infraestructuras. Para ello, se realizará un estudio comparativo de materiales aislantes tradicionales con otros aislantes fabricados a partir de residuos para determinar el impacto global del Ciclo de Vida de los diferentes productos evaluados.

1.2 Objetivos específicos:

Para el cumplimiento del objetivo general propuesto se debe trabajar en los siguientes objetivos específicos:

- Actualización de la normativa y análisis del estado del arte, para conocer las diferentes investigaciones que se han realizado con este tipo de subproductos en la utilización de la industria de construcción.
- Definición del objetivo, alcance, límites del sistema y la unidad funcional.
- Realización de un Análisis del inventario de ciclo de vida (ICV).
- Evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV).
- Interpretación de los resultados obtenidos con el fin de proporcionar diferentes estrategias para la reducción de impacto ambiental que cumplan con las normativas vigentes, además de generar nuevas líneas de investigación a futuro.

2 Materiales Y Métodos

El presente trabajo utiliza el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) el cual es un instrumento para la gestión ambiental, ofreciendo un enfoque estandarizado internacionalmente para modelar, evaluar y valorar los impactos de un producto o proceso a lo largo de su ciclo de vida. El objetivo de este es evaluar el impacto en el ecosistema, los recursos naturales y la salud humana abarcando todas las fases, es decir desde la materia prima hasta su eliminación (VanderWilde & Newell, 2021).

El ACV permite identificar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo vida. Además, aporta información para la toma de decisiones en la industria, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales. De igual forma, poder seleccionar los indicadores de desempeño ambiental pertinentes, incluyendo técnicas de medición y marketing.

De acuerdo con las normas ISO 14040:2006 y 14044:2006, las cuales establecen cuatro fases para la realización del ACV:

- Definición de objetivos y alcance: en la cual se establece el propósito del estudio, el producto a estudiar, límites del sistema, nivel de detalle, la unidad funcional (FU), público previsto, sistema del producto, descripción de la metodología de la evaluación de los impactos del ciclo de vida y los tipos de impactos, interpretación a utilizar, limitaciones, etc.
- Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ICV): se identifica y cuantifica las entradas y salidas en relación con el sistema bajo estudio, además de la recopilación de datos necesarios para el cumplimiento de los objetivos del estudio.

- Evaluación de los impactos del Ciclo de Vida (EICV): se establece una relación de entradas y salidas en el inventario con los posibles impactos sobre el medio ambiente, la salud humana y los recursos de acuerdo con el ICV.
- Interpretación de resultados: se analiza e interpreta los resultados del ICV y EICV para establecer recomendaciones o toma de decisiones para la reducción de daños, de acuerdo con el objetivo y alcance definido.

La EICV debe planificarse cuidadosamente para lograr el objetivo y alcance del estudio de un ACV, para ello se debe incluir los siguientes elementos obligatorios: selección de categorías de impacto, indicadores de categorías y modelos de caracterización; asignación de los resultados del ICV a las categorías de impacto seleccionadas y por último el cálculo de los resultados de indicadores de categoría (Comité Europeo de Normalización, 2006).

En la EICV se utiliza un sistema de datos del ciclo de vida de referencia internacional (ILCD), este método propone la utilización de un enfoque combinado de punto medio/ punto final, vinculando los resultados del ICV a través de categorías de punto medio (impacto) con categorías de punto final (daño). El primero representa los efectos negativos al ambiente a través de los cuales se produce el daño, mientras que los segundos se obtienen de la agrupación de las categorías de impacto. Este método además calcula el consumo de energía no renovable y tiene en cuenta al dióxido de carbono como la sustancia emitida con mayor responsabilidad en el efecto invernadero y el cambio climático, al considerar estos aspectos fundamentales es perfecto para el estudio de procesos industriales Ingrao et al (2014).

Para la selección de las categorías de impacto, indicadores de categorías y los modelos de caracterización, se debe tener en cuenta que estos deben ser aceptados internacionalmente, es decir, se deben basar en un acuerdo internacional o en su debido caso ser aprobados por un

organismo internacional. Las categorías de impacto deben representar la suma de los impactos de las entradas y salidas del sistema a través de los indicadores de categoría. Se debe minimizar los juicios de valor y suposiciones durante la selección de estos. El modelo de caracterización para cada categoría de impacto debe ser válido científica y técnicamente, además de basarse en un mecanismo ambiental diferenciado e identificable.

La asignación de los resultados del ICV a las categorías de impacto se debe considerar los resultados del ICV de cada una de las categorías de impacto y la identificación que se refieran a más de una categoría de impacto (distribución entre mecanismos paralelos o en serie).

Por último, para el cálculo de los resultados del indicador se debe hacer una conversión de los resultados del ICV a unidades comunes y la suma de los resultados convertidos dentro de la misma categoría de impacto. Para esta conversión se utilizan factores de caracterización, los cuales deben identificarse y documentarse, incluyendo los juicios de valor y suposiciones utilizadas (Comité Europeo de Normalización, 2006).

Tabla 1.

Categorías de impacto ambiental, unidades y explicación.

Categoría de daño	Categoría de impacto	Unidad	Explicación
	Agotamiento del ozono	kg CFC-11 eq.	Potenciales de agotamiento del ozono (ODP) de la Organización Meteorológica Mundial utilizados para convertir gases en equivalentes de CFC-11.
		CTUh	La Unidad Tóxica Comparativa para uso humano incluye la inhalación al aire libre,

Salud Humana			la ingestión de agua potable y la ingestión indirecta de toxinas, por ejemplo, aquellas que se han acumulado en plantas, animales y peces.
	Toxicidad humana, efectos del cáncer	CTUh	Unidad Tóxica Comparativa para humanos usada, detalles como arriba.
	Materia particular	kg PM2.5 eq.	Fracción de incorporación de partículas finas estimada a partir de las emisiones.
	Radiación ionizante, salud humana.	kg U235 equiv.	Incluye la transferencia de la contaminación al medio ambiente y la exposición potencial. Cierta incertidumbre asociada con la larga vida media de muchos materiales radiactivos.
	Radiación ionizante, ecosistemas (interino)	CTUe	Unidad Tóxica Comparativa para los ecosistemas utilizados, el modelo actual se enfoca en los efectos en el agua dulce. La categoría provisional recomendada por el ILCD como factores de caracterización aún no se ha descrito en una publicación revisada por pares.
		kg COVDM eq	Las emisiones que causan el aumento de la concentración de ozono en la troposfera se caracterizan por Compuestos Orgánicos

		Volátiles No Metano eq. El ozono de bajo nivel puede dañar la vegetación y causar impactos en la salud humana.
	Formación de ozono fotoquímico	
	molc H ⁺ eq	Sobre la base de la superación acumulada, esto incluye el transporte atmosférico y la deposición de emisiones mientras se tienen en cuenta las vulnerabilidades de los diferentes ecosistemas.
	Acidificación	
Calidad del ecosistema	molc N eq	Sobre la base de la superación acumulada, la evaluación de las condiciones atmosféricas y del suelo y las cuentas de las sensibilidades de la biodiversidad en diferentes áreas.
	terrestrea	
	Eutrofización	
	kg P eq	Calcula las concentraciones de nutrientes que se han transferido a un entorno acuático de agua dulce, centrándose en el fósforo.
	Eutrofización de agua dulce	
	kg N eq	Como el anterior, pero se centra en los ambientes acuáticos marinos, evaluando las concentraciones equivalentes de nitrógeno.
	Eutrofización marina	
	CTUe	Unidad Tóxica Comparativa para los ecosistemas utilizados, esto da cuenta de la

	Ecotoxicidad en agua dulce		exposición, el transporte potencial y los efectos en los ecosistemas.
	Uso del suelo	Déficit de kg C	Evalúa el déficit de calidad de los terrenos ocupados, utilizando la materia orgánica del suelo como indicador de calidad.
Recursos	Agotamiento de los recursos hídricos	m ³ agua equivalente	Considera el uso del agua y lo relaciona con la escasez local.
	Agotamiento de recursos minerales, fósiles y renovables	kg Sb eq	Utiliza el potencial de agotamiento abiótico (recursos físicos, no biológicos), una relación entre la extracción anual de recursos y las reservas disponibles. Todos los recursos convertidos a equivalentes de antimonio.
Cambio climático	Calentamiento global	kg CO ₂ eq	Los gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático se suman como equivalentes de CO ₂ ; utiliza los potenciales de calentamiento global del informe de 2007 del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) durante un período de tiempo de 100 años.

Nota: Densley et al, 2015.

Además de los elementos obligatorios de la EICV, podría haber informacional adicional que puede ser utilizada dependiendo del objetivo y el alcance del ACV:

- Normalización: cálculo de la magnitud de los resultados de los indicadores de categoría en relación con la información suministrada.
- Agrupación: organización y clasificación de las categorías de impacto.
- Ponderación: conversión y suma de los resultados de los indicadores a través de las categorías de impacto, utilizando factores numéricos basados en juicios de valor.
- Análisis de la calidad de datos: fiabilidad en la recopilación de los resultados del indicador y del perfil de la EICV.

En la Interpretación del ciclo de vida se comprenden varios elementos: identificación de los contenidos más significativos en los resultados de las fases del ICV y la EICV, una evaluación la cual verifica los análisis de integridad, sensibilidad y coherencia. Por último, conclusiones generales, limitaciones y recomendaciones.

Este documento utiliza los datos proporcionados por el software SimaPro, accediendo a la base de datos, Ecoinvent, los datos de las cantidades y características de los residuos utilizados en las respectivas investigaciones realizadas por Gama et al (2022), Lhua et al (2019) y Dissanayake et al (2018).

En primer artículo, el cual tiene como título “PU/Lignocellulosic Composites Produced from Recycled Raw Materials” Gama et al (2022) se crearon diferentes composites para ambos compuestos lignocelulósicos los cuales varían en su composición de 50-70 %peso/peso. Para ello se utilizaron residuos de poliuretano (PU) los cuales se mezclaron con residuos de corcho y pino para producir compuestos totalmente reciclados. Los desechos de poliuretano fueron triturados en un molino de batidor cruzado hasta conseguir un tamaño de 0,5 mm. Posteriormente, el polvo de poliuretano fue secado y mezclado a temperatura ambiente con

gránulos de corcho o con fibras de pino, estas mezclas se dejaron toda la noche en un horno a 105°C para eliminar la humedad. Para finalizar, los composites se realizaron en una prensa caliente a 180°C y con una presión de 3 TON, durante 10 min. Después de hacer los paneles estos fueron caracterizados mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), mediciones del ángulo de contacto, microscopía electrónica de barrido (SEM), propiedades mecánicas y estáticas dinámicas (DMA), dureza shore y análisis termogravimétrico (TGA). De este estudio se concluye que, debido a la diferencia en la composición y morfología de los rellenos, los paneles de aislamiento resultantes presentaron diferentes morfologías y propiedades. La presencia de ambos tipos de materiales lignocelulósicos reduce la densidad y la conductividad térmica de los materiales resultantes, esto se debe a que la estructura panal de corcho y la presencia de vacíos y eventualmente la orientación aleatoria de las fibras de pino. También se destaca el carácter hidrofílico el cual se presenta más en las fibras de pino haciendo que los compuestos resultantes sean más propensos a la descomposición hidrolítica. Debido a la forma cilíndrica y la resistencia de las fibras de los compuestos de pino resultaron más rígidos, mientras que el comportamiento elástico del corcho proporcionó resultados con mejores propiedades de amortiguación.

El segundo artículo “Properties of Waste Fiber/Polyurethane Flame Retardant Insulation Board” Lihua et al (2019), investigó el uso de fibras de desecho con poliuretano para aislamiento térmico, reduciendo el daño de las fibras de desecho y mejorando el rendimiento de aislamiento térmico. Este trabajo utilizó como materia prima algodón de desecho, poliuretano desechado, agente espumante AC y retardante de llama APP. Se realizó el panel de aislamiento ignífugo de fibra de desecho/poliuretano mediante prensado en caliente. Posteriormente se midieron las condiciones tecnológicas óptimas según el coeficiente de conductividad térmica, índice de oxígeno y propiedades mecánicas. Este panel de aislamiento ignífugo de fibra de desecho/poliuretano fueron analizado por el análisis termogravimétrico

(TGA), la relación de carbono residual, diámetro promedio de los poros de las burbujas fueron observados por Microscopía electrónica de barrido (SEM). Finalmente, se utiliza un software de simulación de elementos finitos Abaqus para simular el proceso de conducción térmica. Este artículo concluye que las condiciones óptimas son utilizar una fracción de masa de fibra de desecho del 10%, de agente espumante AC 3%, de masa retardante de llama APP 15%, a una presión de prensado en caliente de 7MPa y una temperatura de prensado de 180°C, una longitud de fibras de desecho de 20 mm, para el mezclado se estima una temperatura de mezcla de 175-180°C, el tiempo de prensado de 8 minutos y de enfriamiento 2 horas. Bajo estas condiciones el coeficiente de conductividad térmica fue de 0,06 W/mK, el índice de oxígeno límite fue de 35,82%, la resistencia a la tracción fue de 2,645 MPa y la resistencia a la flexión fue de 5,314MPa. De igual forma se concluye que el mecanismo y el efecto retardante de la llama de la placa de aislamiento de residuos de fibra/poliuretano analizado por TGA logró un buen efecto. El diámetro medio de los poros de las burbujas era de 350 um por SEM y el tablero de aislamiento ignífugo de fibra de desecho/poliuretano tenía poros de burbuja buenos y uniformes, es decir poros de burbujas cerrados en su mayoría, forma redonda de los poros, lo cual mejora la propiedad de aislamiento térmico.

El último artículo “Developing a compression moulded thermal insulation panel using post industrial textile waste” Dissanayake et al (2018) el cual tiene como objetivo desarrollar un material de aislamiento térmico a partir de residuos de corte de materiales sintéticos (Nylon/Spandex y Poliuretano). Para ello se utilizaron insumos de un fabricante local de prendas de vestir (Moratuwa, Sri Lanka). El porcentaje de nylon en peso en los residuos tejidos oscila entre 75% y 95%, siendo una mezcla aleatoria de los mismos. El polímero de nylon en los tejidos fue de nylon 6. Los recortes de tejido de poliuretano como los de nylon/spandex se trituraron en piezas de 2mm x 2mm antes de ser procesados en una trituradora comercial. La composición se varió de a 100% de poliuretano como nylon/spandex para determinar la

proporción de material óptima para las mejores propiedades de aislamiento térmico. Utilizaron una distribución intercalada, en la que el panel de poliuretano se intercala entre dos paneles de nylon/spandex en lugar de una mezcla de partículas trituradas de estos, debido a su homogeneidad y el costo adicional de la mezcla extensiva, además no se requirió el uso de un aglutinante adicional. Para la compresión se moldearon diferentes combinaciones de poliuretano y nylon/spandex, en la cual se utilizaron 30 g de material de desecho en total para cada muestra. La presión utilizada fue 2T y la temperatura de 215°C, debido a que es la temperatura de fusión del nylon 6. Los tiempos de calentamiento y enfriamiento fueron de 40 min y 10 min respectivamente. Después de determinar la composición óptima, se varió el espesor de la muestra, para ello se modificó la cantidad de materiales de entrada manteniendo las condiciones del proceso, y así observar cuantitativamente la relación espesor-conductividad. La cantidad de material se varió de 20 g a 20 g en intervalos de 2,5 g. La densidad se mantuvo constante, con un valor alrededor de 1200 kg/m³. Con este trabajo se concluye que la mejor composición para la mejora del aislamiento térmico es 60:40 (nylon/spandex: poliuretano) en %peso/peso. La conductividad térmica fue de 0,0953 W/mK. Además, para la producción de un metro cuadrado de panel de aislamiento térmico con espesor de 10 mm, se utilizan aproximadamente 10 kg de material de desecho. Este material innovador permite un reciclaje total de los materiales utilizados, ya que este método permite el reciclaje de sistemas múltiples materiales como lo es nylon/spandex, puesto que, de otro modo, sería desafiante sin el preprocesamiento para su clasificación en los vertederos.

Para el presente trabajo se utilizará un enfoque de punto medio y punto final. El primero se emplea para realizar evaluaciones comparativas entre productos y procesos similares. Esto se hace comparando entre sí cada categoría de impacto, los valores de daño que resultan de cada etapa de caracterización los cuales se expresan utilizando indicadores equivalentes, por ejemplo, kg CO₂ para el calentamiento global. También, se utiliza el enfoque de punto final,

ya que expresa los resultados con parámetros numéricos equivalentes, lo cual permite la cuantificación de los efectos ambientales del sistema analizado. De esta manera, las categorías de daño e impacto, los procesos, las sustancias emitidas y los recursos utilizados se pueden comparar entre sí en función de la unidad de daño. Este enfoque facilita identificar aquellos procesos que son de mayor impacto, es decir, los que necesitan prioridad de una mejora ambiental (Ingrao, y otros, 2014). En este contexto, al realizar esta evaluación podemos identificar el porcentaje de impacto ambiental asociado a las diferentes categorías de impacto relacionadas a la fabricación de los aislantes térmicos con un programa válido para la toma de decisiones.

En contexto, el trabajo se dividirá en dos escenarios, los materiales de aislamiento tradicional y los materiales de aislamiento con residuos. En el primer escenario se realizará el ACV para cada material (corcho, fibra de celulosa y fibra textil), luego se procede a realizar la comparativa entre ellos e identificar el impacto que causa cada uno de acuerdo con las categorías de impacto. En el segundo escenario se realiza el ACV para los materiales con residuos (corcho, fibra de algodón, fibra textil), los cuales tienen variaciones en el porcentaje de su composición total. Cada una de estas variaciones de acuerdo con el material de residuo se comparará con el material tradicional y así identificar las mejoras que proporciona al añadir residuos según las categorías de impacto.

2.1 Definición del objetivo y alcance

Este trabajo tiene como objetivo la aplicación de ACV en el campo del aislamiento térmico de edificios para identificar y estudiar los indicadores de impacto que representan la producción de un material aislante a base de residuos de diferentes materiales (corcho, fibra de algodón y textil). Puesto que al cuantificar los impactos ambientales podemos identificar las fases de mayor impacto en la producción de los aisladores, también la categoría más afectada

entre las consideradas por el método IPCC y CML2000, de igual manera se resaltan los procesos que generan emisiones y consumo de los recursos naturales, las categorías de impacto más significativa y las posibles mejoras ambientales.

2.2 Objetivo del estudio

El producto estudiado es un material aislante principalmente utilizado en paredes para favorecer el aislamiento térmico y acústico. Así la Unidad Funcional (FU) para este documento es 1 kg de panel aislante con los diferentes residuos al cual se refieren los flujos de entrada y salida.

2.3 Alcance del estudio

El ciclo de vida se divide en diferentes etapas según la norma EN 15804:2014+A1, como se muestra en la Tabla 2. Por lo cual los límites de un estudio de ACV en un material de construcción se pueden definir desde la cuna hasta la puerta (se incluye la extracción, procesamiento de materia prima y la producción), desde la cuna hasta la tumba (el cual abarca lo anterior e incluye el transporte, la distribución, ensamblaje, uso, mantenimiento y disposición final), o de cuna a cuna, también conocido como C2C, el cual recopila todo el proceso y el potencial de reutilización, recuperación y/o reciclaje (Silvestre et al, 2016).

El alcance de este análisis será un enfoque “de la cuna a la puerta”, en el cual se analizará el impacto generado desde la extracción de la materia prima, siguiendo por la producción de los materiales, hasta que el producto sale de la fábrica.

Tabla 2.

Etapas detalladas del ciclo de vida de la clasificación de materiales de construcción según las normas europeas.

Límites de LCA	Etapas del ciclo de vida	Descripción de la etapa del Puerta a ciclo de vida
De la cuna a la puerta	Etapa del producto (A1–A3)	A1- Extracción y procesamiento de materias primas, procesamiento de insumos de materiales secundarios. A2- Transporte al fabricante. A3- Fabricación.
	Etapa del proceso de construcción (A4–A5)	A4- Transporte a la obra. A5- Instalación en el edificio.
De cuna a cuna a cuna Cuna a la tumba Puerta a la tumba	Etapa de uso: relacionados con la estructura del edificio (B1–B5)	B1- Uso o aplicación del producto instalado. B2- Mantenimiento. B3- Reparación. B4- Reemplazo. B5- Remodelación.
	Etapa de uso: relacionados con el	B6- Uso operativo de energía.

funcionamiento del edificio (B6–B7)	B7- Uso operativo de agua.
Etapa del final de la vida (C1–C4)	C1- Deconstrucción, demolición.
	C2-Transporte al procesamiento de desechos.
	C3- Procesamiento de desechos para reutilización, recuperación y/o reciclaje.
	C4- Eliminación.
Beneficios y cargas más allá del límite del sistema (D)	D-Potencial de reutilización, recuperación y/o reciclaje.

Nota: Silvestre et al, 2016.

2.4 Análisis del inventario de ciclo de vida

El ICV se realizó recopilando los datos de los artículos realizados por Gama et al (2022), Lhua et al (2019) y Dissanayake et al (2018) y la base de datos Ecoinvent, sobre los diferentes materiales aislantes de acuerdo con el objetivo del presente trabajo. Teniendo en cuenta el objetivo de esta fase, el cual es cuantificar los flujos de materiales y energía en el ciclo de vida de un producto.

2.4.1 *Aislante tradicional*

En este apartado se describirán cada uno de los materiales utilizados para aislamiento térmico y acústico, además se analiza la constitución en su totalidad de cada uno, teniendo en cuenta los datos globales de Ecoinvent.

- *Corcho*

El corcho es un tejido vegetal el cual es extraído de la corteza de alcornoque (*Quercus Suber L*), este presenta una estructura celular homogénea con paredes celulares delgadas acomodadas sin dejar espacio intercelular, lo cual le otorga una baja densidad, comportamiento viscoelástico, baja conductividad térmica, buena absorción acústica, resistente a la abrasión, hidrófugo e imputrescible. Es un material no tóxico, no desprende algún polvo nocivo, es inmune a insectos y roedores, es biodegradable, resistente al fuego, no emite gases nocivos al arder y es hipoalergénico. Tiene una densidad que se comprende entre 110 y 170 kg/m³, una conductividad térmica entre 0,037 y 0,050 W/mK y un calor específico entre 1,5 y 1,7 kJ/kgK (Ciaburro & Iannace, 2022).

La extracción del corcho se considera un proceso sostenible, ya que no produce algún daño al árbol tras la extracción de este, ya que la corteza vuelve a crecer. Su importancia ambiental juega un papel importante en los procesos ecológicos como la retención de agua, la conservación del suelo y el almacenamiento de carbono. En cuanto a este último, parte del carbono fijado por los alcornoques se transfiere a los productos de corcho, dando como resultado a estos productos el potencial de mitigar el cambio climático mediante el almacenamiento de carbono durante largos periodos, es decir, hasta el final de la vida útil de dichos productos. En la literatura se pueden encontrar algunos estudios de ACV de corcho y productos de corcho. En relación con el corcho como material aislante encontramos el estudio de Silvestre et al (2016), el cual evalúa los impactos ambientales de la cuna a la cuna de acuerdo con el ACV. De los resultados se destaca que el tablero de corcho tiene una baja contribución

a varias categorías de impacto en las etapas A1-A3 con respecto a otros materiales de aislamiento térmico (poliestireno expandido y extruido, lana mineral y poliuretano). Sin embargo, los tableros de corcho presentan mayor impacto en el requerimiento de energía y agua. Otra investigación por Fernández et al (2021) en la cual calcularon la huella de carbono de tableros de corcho de una empresa portuguesa y se compararon con otros materiales aislantes del mercado. Se destacó que la huella de carbono del tablero de corcho fue de -116,229 kg CO₂ equivalente por m³. La cantidad significativa de carbono incorporado se debe a la absorción del corcho durante su crecimiento y consumo neto de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante su ciclo de vida son muy bajos.

Tabla 3.

Materiales utilizados para el panel de aislamiento térmico de corcho

Tablero de corcho		
Functional Unit	kg	1
Materials/fuels		
Cork, raw {GLO} market for APOS, U	kg	1,06
Electricity, medium voltage {RoW} market for APOS, U	kWh	1,00E+00
Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW} market for APOS, U	MJ	4,92
Melamine formaldehyde resin {RoW} market for melamine formaldehyde resin APOS, U	kg	0,056
Phenolic resin {RoW} market for phenolic resin APOS, U	kg	0,028
Urea formaldehyde resin {RoW} market for urea formaldehyde resin APOS, U	kg	0,056
Wooden board factory, organic bonded boards {GLO} market for APOS, U	p	1,00E-10
Emissions to air		
Formaldehyde	kg	0,00014

Nota: *Ecoinvent, (2015)*

- *Fibra de celulosa*

La fibra de celulosa como aislante natural son sostenibles, renovables y respetuosas con el medio ambiente durante su ciclo de vida y su producción en comparación con materiales sintéticos no renovables los cuales generan mucha contaminación durante su producción. La fibra de celulosa se puede utilizar para aislamiento en forma de relleno suelto o de tablero de fibra. La celulosa compactada por gravedad en estado suelto se usa como aislante ya que su conductividad térmica en este estado es comparable a la de materiales convencionales. Los tableros de fibra se pueden fabricar a partir de celulosa utilizando materiales biodegradables, renovables y reciclables (Shankar & Parveen, 2021).

La fibra de célula tiene buenas propiedades térmicas y otras ventajas, como una conductividad térmica baja y su valor esta alrededor de 0,04 W/mK, también presenta baja energía incorporada aproximadamente 3,3 MJ/kg, lo cual lo hace comparable con materiales de aislamiento convencionales y no convencionales (Tumusiime, Bautista, & Musinguzi, 2020).

Podemos evidenciar en diferentes estudios de ACV sobre la fibra de celulosa, como es el caso de la investigación realizada por Cusenza et al (2021), el cual evalúa y analiza los puntos críticos de los impactos ambientales y energéticos potenciales de la instalación de material de aislamiento convencional (lana de roca) y un material de aislamiento de base biológica (fibra de celulosa), del cual se destaca la disminución del impacto potencial de calentamiento global, sin embargo, la fibra de celulosa causa mayor impacto en el agotamiento de los recursos bióticos. De esta misma investigadora Cusenza (2022), realiza un análisis de dos materiales de aislamiento térmico (poliestireno expandido extruido (XPS) y fibra de celulosa (CF)) combinando dos configuraciones para un sistema fotovoltaico en un edificio (con y sin sistema de almacenamiento de baterías). En sus resultados destaca el sistema CF con almacenamiento

en batería, el cual tiene un menor impacto en casi todas las categorías energéticas y ambientales investigadas, y el sistema XPS sin sistema de almacenamiento de batería tiene el peor rendimiento.

Tabla 4.

Materiales utilizados para el panel de aislamiento térmico de fibra de celulosa.

Fibra de celulosa		
Functional Unit	kg	1
Water, cooling, unspecified natural origin, RoW	m3	0,98701
Water, river, RoW	m3	0,11818
Water, unspecified natural origin, RoW	m3	0,01673
Occupation, inland waterbody, unspecified	m2	0,00015
Transformation, from unknown	m2	1,59E-06
Transformation, to inland waterbody, unspecified	m2	1,59E-06
Materials/fuels		
Acrylic dispersion, without water, in 65% solution state {RoW} market for acrylic dispersion, without water, in 65% solution state APOS, U	kg	4,05E-06
Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state {RoW} market for acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state APOS, U	kg	1,33E-06
Adipic acid {GLO} market for APOS, U	kg	1,66E-08
Aluminium sulfate, powder {RoW} market for aluminium sulfate, powder APOS, U	kg	8,76E-05
Aluminium, primary, ingot {RoW} market for APOS, U	kg	8,91E-05
Aluminium, wrought alloy {GLO} market for APOS, U	kg	0,00015
Ammonium chloride {GLO} market for APOS, U	kg	2,51E-05
Anionic resin {RoW} market for anionic resin APOS, U	kg	6,02E-09
Bark chips, wet, measured as dry mass {GLO} market for APOS, U	kg	0,00739
Calcium carbonate, precipitated {RoW} market for calcium carbonate, precipitated APOS, U	kg	0,00059

Carbon dioxide, liquid {RoW} market for APOS, U	kg	2,70E-06
Cast iron {GLO} market for APOS, U	kg	4,14E-06
Cationic resin {RoW} market for cationic resin APOS, U	kg	2,40E-09
Cement, Portland {RoW} market for APOS, U	kg	0,00292
Chemical, inorganic {GLO} market for chemicals, inorganic APOS, U	kg	7,39E-06
Chemical, organic {GLO} market for APOS, U	kg	0,00047
Chlorine, liquid {RoW} market for chlorine, liquid APOS, U	kg	1,50E-05
Chlorodifluoromethane {RoW} market for chlorodifluoromethane APOS, U	kg	1,72E-07
Concrete, normal {RoW} market for APOS, U	m3	3,86E-05
Copper {GLO} market for APOS, U	kg	4,85E-06
Copper sulfate {GLO} market for APOS, U	kg	8,09E-06
Corrugated board box {CA-QC} market for corrugated board box APOS, U	kg	3,49E-06
Corrugated board box {RoW} market for corrugated board box APOS, U	kg	0,00029
Diesel, burned in building machine {GLO} market for APOS, U	MJ	0,00386
Diesel, burned in diesel-electric generating set {GLO} market for APOS, U	MJ	0,00046
Dithiocarbamate-compound {GLO} market for APOS, U	kg	1,96E-06
EDTA, ethylenediaminetetraacetic acid {GLO} market for APOS, U	kg	8,64E-05
Electricity, high voltage {RoW} market for APOS, U	kWh	1,93E-01
Electricity, low voltage {RoW} market for APOS, U	kWh	2,45E-03
Electricity, medium voltage {RoW} market for APOS, U	kWh	1,09E-03
Ethylene glycol {GLO} market for APOS, U	kg	2,16E-08
Ethylene glycol monoethyl ether {RoW} market for ethylene glycol monoethyl ether APOS, U	kg	1,78E-06
Fatty alcohol {GLO} market for APOS, U	kg	2,19E-05
Foaming agent {GLO} market for APOS, U	kg	1,17E-06

Heat, central or small-scale, other than natural gas {RoW} heat production, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating APOS, U	MJ	0,00020
Heat, district or industrial, natural gas {RoW} market for heat, district or industrial, natural gas APOS, U	MJ	0,06327
Heat, district or industrial, other than natural gas {CA-QC} heat production, light fuel oil, at industrial furnace 1MW APOS, U	MJ	0,00911
Heat, district or industrial, other than natural gas {CA-QC} heat production, propane, at industrial furnace >100kW APOS, U	MJ	0,00031
Heat, district or industrial, other than natural gas {RoW} market for APOS, U	MJ	
Heavy fuel oil {RoW} market for APOS, U	kg	0,00325
Heavy water {GLO} market for APOS, U	kg	3,31E-06
Helium {GLO} market for APOS, U	kg	2,91E-06
Hot rolling, steel {GLO} market for APOS, U	kg	0,00025
Hydrazine {RoW} market for hydrazine APOS, U	kg	2,27E-06
Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state {RER} market for APOS, U	kg	5,59E-07
Hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state {RoW} market for hydrogen peroxide, without water, in 50% solution state APOS, U	kg	0,00214
Hydrogen, liquid {RoW} market for APOS, U	kg	0,00019
Industrial machine, heavy, unspecified {GLO} market for APOS, U	kg	7,42E-07
Isopropanol {RoW} market for isopropanol APOS, U	kg	7,42E-06
Lead {GLO} market for APOS, U	kg	0,00010
Light fuel oil {RoW} market for APOS, U	kg	0,00049
Lime {RoW} market for lime APOS, U	kg	0,000195
Lubricating oil {RoW} market for lubricating oil APOS, U	kg	5,75E-06
Magnesium sulfate {GLO} market for APOS, U	kg	0,00040
Maize starch {GLO} market for APOS, U	kg	5,86E-07
Malusil {GLO} market for APOS, U	kg	0,00029

Manganese {GLO} market for APOS, U	kg	3,62E-07
Manganese dioxide {GLO} market for APOS, U	kg	0,00010
Methanol {GLO} market for APOS, U	kg	0,00020
Methanol, from biomass {RoW} market for APOS, U	kg	0,00031
Natural gas, high pressure {RoW} market for APOS, U	m3	0,002917
Nitrogen, liquid {RoW} market for APOS, U	kg	3,36E-06
Nuclear power plant, pressure water reactor, 650MW {GLO} market for nuclear power plant, pressure water reactor 650MW APOS, U	p	2,24E-10
Oxygen, liquid {RoW} market for APOS, U	kg	0,00570
Ozone, liquid {RoW} market for APOS, U	kg	3,85E-06
Paper, woodfree, coated {RoW} market for APOS, U	kg	0,00480
Perlite {GLO} market for APOS, U	kg	3,59E-06
Phosphoric acid, industrial grade, without water, in 85% solution state {GLO} market for APOS, U	kg	7,10E-06
Polystyrene scrap, post-consumer {GLO} market for APOS, U	kg	
Potassium permanganate {GLO} market for APOS, U	kg	1,80E-06
Precious metal refinery {GLO} market for APOS, U	p	3,03E-12
Printing ink, offset, without solvent, in 47.5% solution state {RoW} market for printing ink, offset, without solvent, in 47.5% solution state APOS, U	kg	3,16E-05
Propane, burned in building machine {GLO} market for APOS, U	MJ	0,00019
Pulp factory {GLO} market for APOS, U	p	1,08E-11
Pulpwood, softwood, measured as solid wood under bark {RoW} market for APOS, U	m3	0,00077
Pyridine {GLO} market for APOS, U	kg	1,04E-05
Quicklime, milled, loose {RoW} market for quicklime, milled, loose APOS, U	kg	0,00411
Reinforcing steel {GLO} market for APOS, U	kg	4,14E-06
Residual softwood, wet {GLO} market for APOS, U	m3	5,26E-06

Retention aid, for paper production {RoW} market for retention aid, for paper production APOS, U	kg	2,74E-05
Sand {GLO} market for APOS, U	kg	0,000027
Sawlog and veneer log, softwood, measured as solid wood under bark {RoW} market for APOS, U	m3	3,71E-07
Section bar extrusion, aluminium {GLO} market for APOS, U	kg	4,84E-06
Sheet rolling, aluminium {GLO} market for APOS, U	kg	0,00017
Silver {GLO} market for APOS, U	kg	4,60E-07
Soda ash, dense {GLO} market for APOS, U	kg	0,00156
Sodium chlorate, powder {RoW} market for sodium chlorate, powder APOS, U	kg	0,00407
Sodium chloride, powder {GLO} market for APOS, U	kg	0,000042
Sodium dithionite, anhydrous {RoW} market for sodium dithionite, anhydrous APOS, U	kg	0,00004104 6
Sodium formate {RoW} market for sodium formate APOS, U	kg	0,00011269
Sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state {RoW} market for sodium hypochlorite, without water, in 15% solution state APOS, U	kg	0,00649
Sodium percarbonate, powder {RoW} market for sodium percarbonate, powder APOS, U	kg	9,5939E-06
Sodium silicate, without water, in 37% solution state {RoW} market for sodium silicate, without water, in 37% solution state APOS, U	kg	1,0062E-06
Sodium sulfate, anhydrite {RoW} market for APOS, U	kg	0,00010552
Sodium sulfite {RoW} market for sodium sulfite APOS, U	kg	1,85996E-05
Solvent, organic {GLO} market for APOS, U	kg	1,9168E-08
Steel, low-alloyed, hot rolled {GLO} market for APOS, U	kg	9,5171E-06
Strontium carbonate {GLO} market for APOS, U	kg	0,00004587 7
Sugar, from sugar beet {GLO} market for APOS, U	kg	1,7357E-06
Sulfur {GLO} market for APOS, U	kg	8,3491E-06

Sulfur dioxide, liquid {RoW} market for APOS, U	kg	0,00005392 9
Sulfuric acid {RoW} market for sulfuric acid APOS, U	kg	0,0070134
Synthetic rubber {GLO} market for APOS, U	kg	6,0958E-07
Tap water {RoW} market for APOS, U	kg	0,11758595
Textile, woven cotton {GLO} market for APOS, U	kg	9,6034E-07
Thermoforming, with calendering {GLO} market for APOS, U	kg	1,3554E-06
Transport, freight train {RoW} market for APOS, U	tkm	0,02895172 2
Transport, freight, inland waterways, barge {RoW} market for transport, freight, inland waterways, barge APOS, U	tkm	0,00978551
Transport, freight, light commercial vehicle {RoW} market for transport, freight, light commercial vehicle APOS, U	tkm	0,00030149
Transport, freight, lorry >32 metric ton, euro5 {RoW} market for transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 APOS, U	tkm	0,02831996
Transport, freight, lorry, unspecified {RoW} market for transport, freight, lorry, unspecified APOS, U	tkm	0,00056858
Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} market for APOS, U	tkm	0,00117325
Transport, helicopter {GLO} market for APOS, U	hr	1,50E-06
Transport, passenger car {RoW} market for APOS, U	km	0,00025426
Transport, passenger car, large size, petrol, EURO 3 {GLO} market for APOS, U	km	3,80E-05
Triazine-compound, unspecified {GLO} market for APOS, U	kg	1,96E-06
Uranium hexafluoride {RoW} market for uranium hexafluoride APOS U	kg	0,00014059 5
Urea, as N {GLO} market for APOS, U	kg	3,24E-06
White spirit {GLO} market for APOS, U	kg	1,04E-05
Wood chips, dry, measured as dry mass {RoW} market for APOS, U	kg	0,12227365 8
Wood pellet, measured as dry mass {RoW} market for wood pellet APOS, U	kg	0,00101296

Zinc concentrate {GLO} market for APOS, U	kg	0,07961581
Emissions to air		
1-Propanol	kg	1,33E-11
2-Propanol	kg	2,11E-07
2-Propanol	kg	7,42E-06
4-Methyl-2-pentanone	kg	4,61E-09
Acetaldehyde	kg	2,52E-08
Acetaldehyde	kg	1,18E-07
Acetic acid	kg	3,82E-08
Acetic acid	kg	7,12E-08
Acetone	kg	9,13E-09
Acetone	kg	1,04E-08
Acrolein	kg	5,13E-08
Aerosols, radioactive, unspecified	kBq	7,96E-06
Ammonia	kg	4,20E-07
Ammonia	kg	3,92E-06
Antimony-124	kBq	2,83E-09
Antimony-125	kBq	1,39E-07
Arsenic	kg	4,56E-09
Arsenic	kg	1,14E-09
Barium-140	kBq	1,89E-09
Benzene	kg	1,49E-07
Benzene	kg	2,98E-07
Benzene, ethyl-	kg	3,37E-07
Benzene, ethyl-	kg	7,00E-09
Benzene, hexachloro-	kg	1,73E-15
Benzene, hexachloro-	kg	1,68E-15
Benzo(a)pyrene	kg	4,73E-11
Benzo(a)pyrene	kg	1,25E-10
Bromine	kg	1,44E-08
Bromine	kg	1,40E-08

Butane	kg	1,45E-07
Butane	kg	7,87E-09
Cadmium	kg	1,68E-10
Calcium	kg	1,41E-06
Calcium	kg	1,37E-06
Carbon dioxide, biogenic	kg	0,47853247
Carbon dioxide, biogenic	kg	0,07749033
Carbon dioxide, fossil	kg	0,00620604
Carbon dioxide, fossil	kg	0,01498284
Carbon monoxide, biogenic	kg	0,00141093
Carbon monoxide, biogenic	kg	0,00020311
Carbon monoxide, fossil	kg	9,50E-07
Carbon monoxide, fossil	kg	3,27E-05
Carbon-14	kBq	0,00014622
Cesium-137	kBq	4,33E-08
Chlorine	kg	4,32E-08
Chlorine	kg	4,20E-08
Chromium	kg	2,23E-09
Chromium	kg	1,29E-09
Chromium VI	kg	8,42E-11
Chromium VI	kg	1,31E-11
Cobalt	kg	2,28E-09
Cobalt	kg	2,01E-09
Cobalt-58	kBq	9,76E-08
Cobalt-60	kBq	4,50E-07
Copper	kg	3,08E-08
Copper	kg	2,12E-08
Dinitrogen monoxide	kg	3,27E-07
Dinitrogen monoxide	kg	6,88E-07
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	kg	7,49E-15
Ethanol	kg	1,83E-08
Ethanol	kg	2,08E-08

Fluorine	kg	1,20E-08
Fluorine	kg	1,17E-08
Formaldehyde	kg	5,17E-07
Formaldehyde	kg	1,01E-07
Heptane	kg	3,23E-06
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	kg	2,70E-07
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	kg	2,49E-07
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	kg	7,26E-07
Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	kg	7,47E-07
Hydrocarbons, aromatic	kg	9,14E-09
Hydrocarbons, aromatic	kg	1,10E-08
Hydrogen chloride	kg	1,02E-07
Hydrogen chloride	kg	3,02E-07
Hydrogen fluoride	kg	3,51E-09
Hydrogen fluoride	kg	2,92E-09
Hydrogen sulfide	kg	1,04E-05
Hydrogen sulfide	kg	3,60E-08
Iodine-131	kBq	2,15E-06
Iodine-133	kBq	1,08E-05
Iron	kg	4,99E-08
Iron	kg	5,68E-08
Krypton-85m	kBq	0,05870891
Lead	kg	1,60E-08
Lead	kg	3,06E-08
m-Xylene	kg	2,88E-08
m-Xylene	kg	6,20E-08
Magnesium	kg	3,92E-08
Magnesium	kg	8,65E-08
Manganese	kg	4,08E-08
Manganese	kg	3,97E-08
Mercury	kg	3,58E-09
Mercury	kg	9,89E-11

Methane, biogenic	kg	1,38E-05
Methane, biogenic	kg	1,11E-06
Methane, fossil	kg	5,92E-07
Methane, fossil	kg	2,16E-07
Methanol	kg	5,95E-06
Methanol	kg	3,76E-07
Methyl ethyl ketone	kg	5,52E-08
Molybdenum	kg	4,87E-10
Molybdenum	kg	5,54E-10
Nickel	kg	3,35E-09
Nickel	kg	3,54E-08
Niobium-95	kBq	0,17037442
Nitrogen oxides	kg	7,63E-05
Nitrogen oxides	kg	0,00031432
NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	kg	2,51E-06
NMVOOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	kg	2,52E-06
Noble gases, radioactive, unspecified	kBq	1,54058836
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	4,69E-09
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	1,91E-08
Particulates, < 2.5 um	kg	6,11E-05
Particulates, < 2.5 um	kg	3,40E-05
Particulates, > 10 um	kg	1,66E-07
Particulates, > 10 um	kg	1,96E-06
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg	1,28E-06
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg	1,70E-06
Pentane	kg	2,42E-07
Pentane	kg	1,35E-08
Phenol	kg	8,79E-08
Phenol, pentachloro-	kg	1,95E-12
Phenol, pentachloro-	kg	1,89E-12

Phosphorus	kg	4,27E-08
Phosphorus	kg	7,21E-08
Potassium	kg	5,62E-06
Potassium	kg	5,46E-06
Propanal	kg	5,59E-08
Propane	kg	4,07E-09
Propane	kg	4,20E-08
Propionic acid	kg	3,95E-09
Propionic acid	kg	2,24E-10
Propylene oxide	kg	6,20E-07
Radioactive species, other beta emitters	kBq	5,16E-07
Selenium	kg	8,31E-10
Selenium	kg	3,22E-10
Silver-110	kBq	1,86E-08
Sodium	kg	3,64E-07
Sodium	kg	3,49E-07
Sulfur dioxide	kg	6,51E-05
Sulfur dioxide	kg	0,00081468
Sulfuric acid	kg	8,78E-06
Toluene	kg	4,06E-07
Toluene	kg	4,56E-08
Vanadium	kg	6,09E-08
Vanadium	kg	6,92E-08
Water/m3	m3	0,00814964
Water/m3	m3	0,21952532
Xenon-133	kBq	3,59272343
Xenon-135	kBq	0,98740412
Xylene	kg	2,92E-07
Zinc	kg	9,07E-08
Zinc	kg	3,34E-06
Zirconium-95	kBq	3,44E-07
Emissions to water		

4-Methyl-2-pentanol	kg	6,43E-13
Antimony-122	kBq	5,38E-06
Antimony-124	kBq	0,15284074
Antimony-125	kBq	0,00024804
AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl	kg	2,46E-05
Arsenic	kg	1,25E-09
Benzene	kg	5,46E-11
BOD5, Biological Oxygen Demand	kg	0,00013244
Cadmium	kg	5,52E-09
Carbon-14	kBq	0,01703744
Cerium-141	kBq	1,05E-06
Cerium-144	kBq	2,87E-06
Cesium-134	kBq	0,00087338
Cesium-136	kBq	1,67E-06
Cesium-137	kBq	0,00123067
Chromium-51	kBq	4,50E-05
Cobalt-57	kBq	5,31E-05
Cobalt-58	kBq	0,00678097
Cobalt-60	kBq	0,00416838
COD, Chemical Oxygen Demand	kg	0,00354161
Copper	kg	2,78E-08
DOC, Dissolved Organic Carbon	kg	0,00128945
Fluoride	kg	1,19E-06
Formaldehyde	kg	9,49E-08
Hydrocarbons, unspecified	kg	7,34E-06
Hydrogen sulfide	kg	4,50E-07
Hydrogen-3, Tritium	kBq	793,977878
Iodine-131	kBq	0,02977417
Iodine-133	kBq	2,47E-06
Iron-59	kBq	0,13894613
Lanthanum-140	kBq	2,94E-06
Lead	kg	2,40E-08

Magnesium	kg	8,52E-07
Manganese-54	kBq	7,79E-05
Mercury	kg	2,57E-10
Methanol	kg	2,77E-07
Molybdenum-99	kBq	3,57E-08
Niobium-95	kBq	1,83E-05
Nitrogen, atmospheric	kg	2,73E-05
Phosphorus	kg	5,77E-06
Radioactive species, alpha emitters	kBq	1,80E-07
Ruthenium-103	kBq	1,70E-06
Selenium	kg	5,82E-08
Silver-110	kBq	2,64E-05
Sodium-24	kBq	5,94E-05
Strontium-89	kBq	2,17E-05
Strontium-90	kBq	7,73E-06
Suspended solids, unspecified	kg	0,00033439
Technetium-99m	kBq	1,67E-05
Tellurium-123m	kBq	9,34E-06
Tellurium-132	kBq	5,01E-07
TOC, Total Organic Carbon	kg	0,00128945
Toluene	kg	3,02E-11
Water, RoW	m3	0,00671505
Water, RoW	m3	0,88768821
Zinc	kg	5,11E-07
Zinc-65	kBq	0,0109172
Zirconium-95	kBq	0,06947306
Waste to treatment		
Aluminium scrap, new {RoW} market for APOS, U	kg	8,59E-05
Bark {GLO} market for APOS, U	kg	0,00225554
Copper cake {GLO} market for APOS, U	kg	0,00036414
Digester sludge {GLO} market for APOS, U	kg	3,72E-05

Fly ash and scrubber sludge {RoW} market for fly ash and scrubber sludge APOS, U	kg	0,00014391
Green liquor dregs {GLO} market for APOS, U	kg	0,00204398
Hazardous waste, for incineration {RoW} market for hazardous waste, for incineration APOS, U	kg	1,46E-05
Hazardous waste, for underground deposit {GLO} market for APOS, U	kg	0,00017001
Inert waste {RoW} market for inert waste APOS, U	kg	6,05E-05
Limestone residue {RoW} market for limestone residue APOS, U	kg	0,00186528
Low level radioactive waste {GLO} market for APOS, U	m3	1,14E-08
Low level radioactive waste for final repository {GLO} market for APOS, U	m3	5,33E-08
Municipal solid waste {CA-QC} market for APOS, U	kg	8,61E-06
Municipal solid waste {CA-QC} treatment of municipal solid waste, sanitary landfill APOS, U	kg	0,00014063
Municipal solid waste {CY} market for municipal solid waste APOS, U	kg	8,97E-09
Municipal solid waste {RoW} market for APOS, U	kg	0,00012839
Scrap copper {RoW} market for scrap copper APOS, U	kg	9,09E-06
Scrap steel {RoW} market for scrap steel APOS, U	kg	9,74E-05
Sludge from pulp and paper production {RoW} market for sludge from pulp and paper production APOS, U	kg	0,00086684
Spent antifreezer liquid {GLO} market for APOS, U	kg	1,14E-08
Spent nuclear fuel {GLO} market for APOS, U	kg	0,00013437
Spent solvent mixture {RoW} market for spent solvent mixture APOS, U	kg	5,12E-06
Waste emulsion paint {Europe without Switzerland} market for waste emulsion paint APOS, U	kg	7,88E-08
Waste emulsion paint {RoW} market for waste emulsion paint APOS, U	kg	8,82E-07
Waste glass {RoW} market for waste glass APOS, U	kg	7,65E-08

Waste mineral oil {RoW} market for waste mineral oil APOS, U	kg	2,30E-05
Waste mineral oil {RoW} treatment of, hazardous waste incineration APOS, U	kg	2,58E-06
Waste packaging paper {RoW} market for waste packaging paper APOS, U	kg	7,48E-05
Waste paper, unsorted {RoW} market for APOS, U	kg	0,0014335
Waste paperboard, unsorted {GLO} market for waste paperboard, unsorted APOS, U	kg	0,00030036
Waste plastic, mixture {RoW} market for waste plastic, mixture APOS, U	kg	4,55E-07
Waste reinforced concrete {RoW} market for waste reinforced concrete APOS, U	kg	0,08452556
Waste textile, soiled {CH} market for waste textile, soiled APOS, U	kg	2,89E-07
Waste wood, untreated {RoW} market for waste wood, untreated APOS, U	kg	0,00362026 8
Wood ash mixture, pure {RoW} market for wood ash mixture, pure APOS, U	kg	0,00060142 8

Nota: Ecoinvent (2015)

• *Fibra textil*

Los textiles se encuentran entre las necesidades del ser humano, por ello el rápido crecimiento y la evolución de las tendencias de moda durante el siglo pasado aumentó la producción de textiles, así como la tasa de generación de desechos. La industria textil es el segundo contaminador industrial, generando el 10% de las emisiones mundiales de carbono y el 20% de las aguas residuales mundiales. Los desechos textiles que se generan durante la producción de ropa nueva se componen principalmente de desechos fibrosos y productos químicos lavados. Estos desechos fibrosos sólidos son una mezcla de materiales poliméricos naturales y sintéticos (Sakib , Sumi , & Chinchu, 2022).

Las fibras que se utilizan en la industria textil se clasifican en dos categorías principalmente: naturales y artificiales. Las fibras naturales son aquellas que se derivan de fuentes vegetales o animales, como lo es el algodón, lana de oveja, seda, lino, entre otros (Baydar, Ciliz & Mammadov, 2015). Estas fibras tienen fácil disponibilidad, bajo costo, resistencia, fibras de grandes longitudes y son hidrófilas. Las fibras artificiales o sintéticas provienen de la transformación química de materias naturales, en su mayoría el petróleo es la materia prima para la producción de polímeros sintéticos, por ejemplo, nylon, poliéster, polipropileno, spandex, etc. Debido a la no biodegradabilidad de los polímeros sintéticos genera una preocupación ambiental y económica. Sin embargo, esta característica la convierte en una buena alternativa para compuestos fabricados, ya que son homogéneas. Además, las fibras sintéticas en su mayoría son hidrofóbicas, lo cual las hace apropiadas para ser utilizadas en la industria de la construcción (Sakib, Sumi, & Chinchu, 2022).

Hoy en día, se utiliza el enfoque de circularidad en procesos de reutilización y reciclaje textil, el cual tiene la intención de dejar el antiguo modelo lineal de “tomar, hacer y tirar” y pasar a un modelo circular donde la fibra, tela o prendas se puedan utilizar hasta su máximo potencial (Damayanti et al, 2021). Uno de los procesos para dar un valor añadido a estos residuos es la producción de materiales de aislamiento térmico y acústico, lo evidenciamos en diversas investigaciones como es el estudio por Patnaik et al (2015) el cual utiliza desechos de lana y fibras de poliéster recicladas, para ello se hicieron cinco muestras no tejidas con diferentes proporciones, una con 100% de lana dorper, 100% lana de núcleo, 100% poliéster reciclado, 50% lana de núcleo con 50% poliéster reciclado y 50% lana dorper con 50% poliéster reciclado. A todas se les midió el aislamiento térmico, absorción acústica, absorción de humedad, resistencia al fuego y biodegradación. De esto se concluyó que los paneles conformados por lana de desecho/ poliéster reciclado mostraron las mejores propiedades medidas en la investigación. En el estudio por Savio et al (2017), el cual investiga un panel a

partir de fibras de lana y cáñamo en una proporción 50:50, estas fibras fueron bañadas en NaOH 0,25 N, la relación de licor 1:20 a 45°C durante 3 h, de este estudio se realizó el ciclo de vida desde la cuna a cuna, y se demostró su capacidad como alternativa a los productos sintéticos y de mayor impacto ambiental. Otra investigación por Gounni (2019), en el cual se prepararon cuatro telas no tejidas a base de acrílico y lana mediante la técnica de punzonado, estas telas eran residuos de hilatura, residuos de tejido, lana lavada y lana de desecho de moqueta. Cada una de las muestras se compone al 100% de cada uno de los residuos y a cada uno se le midió el comportamiento térmico, de este trabajo se concluyó que todos los materiales innovadores cumplen con los requisitos de aislamiento térmico, además de tener un bajo costo de producción y bajo impacto ambiental.

Tabla 5.

Materiales utilizados para el panel de aislamiento térmico de fibra textil

Polystyrene foam slab, 100% recycled		
Functional Unit	kg	1
Materials/fuels		
Electricity, low voltage {RoW} market for APOS, U	kW	0,30869000
	h	7
Heat, district or industrial, natural gas {RoW} market for heat, district or industrial, natural gas APOS, U	MJ	8,22624
Polystyrene scrap, post-consumer {GLO} market for APOS, U	kg	1
Water, decarbonised, at user {GLO} market for APOS, U	kg	0,000136
Emissions to air		
Water/m3	m3	5,27E-08
Emissions to water		
Water, RoW	m3	8,33E-08

2.4.2 *Aislante con residuos*

En esta categoría se describe la producción de aislantes térmicos a partir de poliuretano y residuos con diferentes cantidades que no superan el 70%. Esta decisión se debe a la bibliografía estudiada (Kyaw Oo D'Amore et al., 2017; Gama et al., 2022; Pacheco Menor et al., 2019; Patnaik et al., 2015; Lihua et al., 2019), al ser diferentes residuos sus componentes y sus cantidades difieren de cada uno, por ello en algunos se necesita mayor cantidad de residuos para obtener las propiedades mecánicas óptimas de aislamiento térmico. Estos residuos, por su naturaleza deben tener una carga ambiental nula, debido a que, si añadimos el proceso de obtención de este, estaríamos diciendo que el aditivo se estaría produciendo para nuestro producto, lo cual significa aportar todo el impacto ambiental sobre el ACV. Sin embargo, el transporte de los residuos hasta la fábrica podría añadirse al producto, para el presente estudio se estableció que el transporte de estos corresponde a el transporte de poliuretano que se sustituye, por lo que, a nivel de consumo, no habría diferencia entre usar o no residuos, ya que el transporte está presente. Lo cual contribuye de manera similar a los diferentes casos propuestos para esta etapa.

- ***Corcho***

En el Mediterráneo los principales productores mundiales de corcho son los países del sur con más del 65% de la superficie y más del 85% de la producción se encuentra en Portugal, España, Italia y Francia. (Ramos et al, 2020).

Los residuos de la industria del corcho se dan por: la industria del corcho natural y la industria del granulado-aglomerado. La primera es la más utilizada, ya que comprende más del 70% de la materia prima para la producción de tapones de corcho natural. Sin embargo, este se convierte en un subproducto industrial, el cual es de gran interés para la industria del granulado ya que optimiza la utilización de la materia prima. Algunos de los subproductos en esta industria se dan por los procesos de transformación como lo son los granulados de corcho, los

aglomerados de corcho expandido y el corcho de composición. Los primeros se dan en la etapa de corte y el material que es rechazado en la etapa de selección para la producción de tapones de corcho, también de los desechos de la trituración de virutas, corcho virgen, trozos de corcho, etc. Los aglomerados de corcho expandido o aglomerados negros provienen de aglutinar granulados sin usar ningún agente sintético para unirlos, mientras que el corcho de composición resulta de aglutinar granulados de corcho con resinas naturales o sintéticas (Pacheco et al, 2019).

Portugal domina el negocio corchero en todas sus facetas: forestal, industria y comercio. Debido al distrito de Aveiro, el cual es el principal centro manufacturero y comercial del mundo, con el grupo Amorim a la cabeza (ebrocork, 2021). La empresa Corticeira Amorim tiene un modelo de negocio implantado, el cual se basa en buenas prácticas de gestión, con procesos íntegros y verticalizados, haciendo uno de los principios de la economía circular al minimizar los residuos generados. Amorim está conformada de cinco unidades de negocio: materia prima, tapones de corcho, pavimentos y revestimientos, corchos compuestos y corcho aislante. Esta empresa produce 1.1150.000 m² de astilla de corcho, 5'800'000.000 tapones de corcho al año, 10'000.000 m² al año de pavimentos y revestimientos, 268.000 bloques y 48.000 cilindros de corchos compuesto al año y 60.000 m³ de aislantes de corcho y se reciclan 801 toneladas de corcho, con una tasa de recuperación de residuos del 93% (no corcho) (Corticeira, 2021).

De la investigación por Gama et al (2021), utilizaremos como base de datos los paneles de aislante térmico con desechos de granulados de corcho derivados de la corteza exterior de *Quercus suber* L, proporcionados por Corticeira Amorim. También los desechos de poliuretano los cuales proceden de residuos de la producción de espumas flexibles a base de diisocianato de metilo difenilo de Flexipol Espumas Sintéticas, SA, los cuales tenían una densidad del 0,17 g*cm⁻³ y un tamaño de partícula de 1,76 mm. Los tableros de aislamiento se hicieron con

diferentes contenidos de residuos los cuales se muestra en la Tabla 6. Estas muestras fueron caracterizadas y en la Tabla 7, se evidencia las propiedades de cada uno de los composites. De esta última tabla podemos evidenciar que la conductividad térmica de las tres muestras es muy cercana, sin embargo, la de mejor conductividad en la muestra que contiene un porcentaje de 30% poliuretano y 70% de corcho. Para el presente estudio utilizaremos las tres muestras debido a las buenas propiedades térmicas y mecánicas, y con ello podríamos determinar el factor medioambiental que generan estos paneles de aislamiento térmico.

Tabla 6.*Formulación de composites*

Muestra	%Poliuretano	% Granulado de corcho
1	50	50
2	40	60
3	30	70

*Nota: Gama et al (2022).***Tabla 7.***Propiedades de los paneles de aislamiento de pino y poliuretano*

Muestra	50% Poliuretano 50% Corcho	40% Poliuretano 60% Corcho	30% Poliuretano 70% Corcho
Porosidad (%)	18,7	12,2	0,7
Densidad (kg/m³)	610,2 ± 21,5	570,5 ± 40,6	551,5 ± 24,7
Rugosidad (µm)	6,578 ± 0,346	8,354 ± 0,411	9,948 ± 0,633
Conductividad térmica (W/mK)	0,0869 ± 0,0005	0,0807 ± 0,0003	0,0726 ± 0,0004
Módulo de Young (MPa)	47 ± 3,6	39,4 ± 2,5	32,2 ± 1,0

Tensión máxima (MPa)	2,6 ± 0,3	2,4 ± 0,1	2,2 ± 0,1
Alargamiento a tensión máxima (%)	16,1 ± 0,9	12,8 ± 0,9	12,6 ± 0,8
Absorción de agua Δt (%)	15,7 ± 0,2	16 ± 1,1	19,3 ± 1,5
Absorción de agua ΔW (%)	40,9 ± 1,1	48,5 ± 1,3	58,4 ± 0,0

Nota: Gama et al (2022).

• *Fibra de celulosa*

Hoy en día, utilizar las fibras de desecho en diferentes industrias atrae el interés del mundo y muchos países han establecido sistemas de reciclaje para la recolecta de fibras de desecho (Zhou et al, 2022). En el periodo 2020-2021 los principales países productores de algodón fueron China, India, Estados Unidos y Paquistán (Gallegos, 2021). En el caso particular de China, debido al gran consumo a escala de algodón se ha convertido en un reto de gran importancia para la ocupación de tierras agrícolas, además de los impactos ambientales de la industria textil, como lo son: los efectos del agotamiento del agua y los efectos sobre la calidad de agua (Chapagain et al, 2006).

En 2020 se generaron aproximadamente 22 millones de toneladas de desechos textiles en China y tuvo una tasa de reciclaje de alrededor del 20% según la NDRC (National Development and Reform Commission) (Textile Technology, 2021). Las medidas de eliminación de estos residuos son inadecuadas, comúnmente se dirigen a vertederos, incineración o reciclaje degradado, los cuales se relacionan con el desperdicio de recursos, pérdida económica y contaminación de compuestos Lihua et al (2019). Teniendo en cuenta que la duración media de la ropa es de 3-4 años, la proporción de textiles desechados es del 70%. Esto se traduce en un desperdicio y una mala influencia en el medio ambiente (Lihua et al, 2019). Sin embargo, los desechos textiles compuestos por fibras naturales tienen la

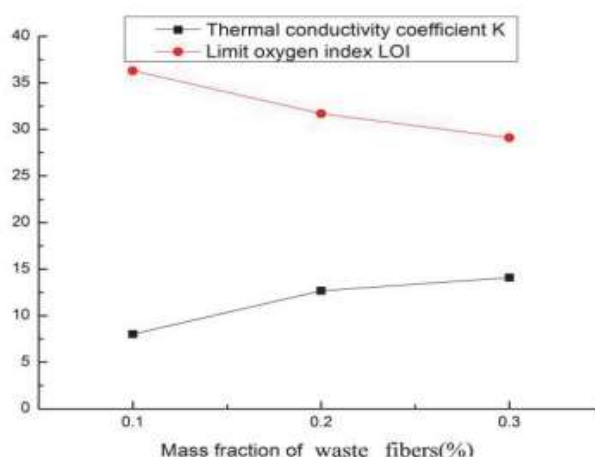
característica de biodegradabilidad, no toxicidad, capacidad de renovación y amplia disponibilidad Lihua et al (2019).

En contexto, lo que busca el presente trabajo es reducir los daños a nivel ambiental de los distintos materiales innovadores, para ello buscamos trabajos donde se aplica el concepto de economía circular y la utilización de desechos que nos afectan gravemente, como ejemplo de ello, está la investigación de Lihua et al (2019), en el cual crean paneles de aislamiento térmico a partir de telas de desecho por Dalian Ganjingzi Huicheng Cotton Product Factory, poliuretano desechado por Bayer Co, Ltd, azodimetilamida por Yuyao Tong Yong Plastic Dyeing Co, Ltd y polifosfato de amonio por Jinan Taixing Fine Chemical Co, Ltd. Estos paneles se obtuvieron mediante la mezcla de prensado en caliente y se obtuvieron las propiedades mecánicas. Teniendo en cuenta los resultados de dicha investigación

A medida que la fracción de masa de las fibras de desecho aumentaba, el coeficiente de conductividad térmica aumentó y el índice de oxígeno límite disminuye. Lo cual nos indica una decadencia de las propiedades de aislamiento térmico y de las propiedades ignífugas del panel. Por lo que la fracción de masa segura es la muestra 1, la cual contiene un 10% de residuos de fibra de algodón, como lo muestra en la figura 1.

Figura 1.

Efecto de la masa de las fibras de desecho de algodón en términos de conductividad térmica e índice de oxígeno límite.



Para el presente estudio utilizaremos las tres muestras, aunque no todas muestran buenas propiedades térmicas y mecánicas, queremos comparar el impacto ambiental que tendría cada uno de acuerdo con los supuestos de dicho trabajo y compáralos con respecto a los diferentes paneles de aislamiento tratados en esta investigación.

Tabla 8.

Composición de paneles de aislamiento a partir de fibra de algodón

Muestra	Residuos de fibra de algodón	Poliuretano	Azodimetilamida	Amonio polifosfato
1	10%	90%	1%	10%
2	20%	80%	2%	15%
3	30%	70%	3%	20%

Nota: *Lhua et al (2019)*.

- ***Fibra textil***

Los residuos textiles alcanzan el 6% del total de residuos producidos, estos se clasifican en tres categorías según el origen: producción, pre consumidor y residuos posconsumo (Sezgin et al, 2021). Los desechos de producción y pre-consumo son aquellos subproductos directos que se reciben de la industria textil, mientras que los desechos posconsumo son aquellas prendas que son desechadas por los usuarios cuando se dañan o no son deseadas. Estos residuos son importantes en la industria del reciclaje textil, sin embargo, los desechos pre-consumo son más aceptados debido a la facilidad de clasificación y procesamiento Saadman et al (2022).

La producción mundial de textiles aumenta a más de 110 millones de toneladas anuales, convirtiéndose esta industria en una de las más importantes que afectan la contaminación ambiental mundial por medio de las emisiones de gases de efecto invernadero, el agotamiento

de recursos naturales y la generación de grandes cantidades de desechos. En Europa y América, se generan más de 10 millones de toneladas de residuos textiles desechados en vertederos. En China se estima el doble de residuos. Sin embargo, el porcentaje de reciclaje de residuos textiles es del 20%, teniendo en cuenta que el 95% del material de desecho tiene gran potencial de reciclabilidad, Sadrolodabae et al, 2021.

En países tercermundistas como Bangladesh, Sri Lanka y Vietnam, donde la industria de la confección es predominante, se producen grandes cantidades de desechos textiles postindustriales y la tasa de reciclaje es muy baja. En Sri Lanka, la industria de la confección es la industria más fuerte en el país en términos de generación de empleo y ganancia de divisas. Esta industria produce diversos tipos de ropa para diversas marcas de moda internacionales como Victoria's Secret, Marks & Spencer, Nike, GAP, La Senza, H&M, etc., para mercados de Estados Unidos y la Unión Europea (Dissanayake et al, 2018). Se estima que la generación de residuos totales fue de 13792,5 toneladas por año. Además, se evidencia que la eliminación de residuos más común es la incineración, seguida de la reutilización para otras empresas y la venta a una empresa de reciclaje autorizada Edirisinghe et al (2022).

Los desechos textiles consisten en su mayoría en materiales sintéticos, especialmente nylon/spandex, los cuales se utilizan para fabricar ropa deportiva y ropa íntima. Este tipo de tejido mixto proporciona un problema para su reciclaje, ya que actualmente las tecnologías son limitadas, aunque el nylon como polímero único se puede reciclar. De igual manera sucede con los desechos de espuma de poliuretano durante el proceso de fabricación de la copa del sostén Dissanayake et al (2018). Por ello se busca dar un valor agregado a este tipo de desechos que acabarían en los vertederos.

En la investigación por Dissanayake et al (2018), se realizaron diferentes muestras donde varió la composición de 0 a 100% de poliuretano y nylon/spandex, en el cual se determinó la proporción de material óptima para las mejores propiedades de aislamiento

térmico. Para ello, utilizaron una configuración laminada intercalando un panel de poliuretano entre dos paneles de nylon/spandex, también se usó 30 g de material de desecho en total para cada una de las muestras y la densidad se mantuvo constante a 1060 kg/m^3 .

Como se evidencia en la siguiente tabla no hay valores por encima del 70% de poliuretano, esto se debe a que la integridad física de las muestras no era favorable debido a la insuficiencia del nylon como material de unión para mantener en su puesto las partes de poliuretano. Por ello, la cantidad mínima de tejido de nylon/spandex que utilizó en la investigación fue del 30%. De igual forma, se observa la disminución de la conductividad térmica con el aumento del poliuretano hasta cierto punto. Esto se da por la espuma de poliuretano, ya que es una estructura porosa y puede retardar el calor de manera más eficiente que el nylon/spandex debido a la alta proporción de pequeños huecos en la capa de poliuretano, además de no ser huecos lo suficientemente grandes para transmitir calor por convección o radiación. Aunque, al aumentar la cantidad de espuma de poliuretano hay un aumento de la conductividad térmica, lo cual podría deberse al aumento de espacios vacíos entre las dos capas de nylon/spandex lo suficientemente grandes como para transmitir calor por convección, lo que aumenta la conductividad térmica.

La menor conductividad térmica se obtiene en la composición 60% de nylon/spandex y 40% de poliuretano a $0,0953 \text{ W/mK}$. Lo cual la hace la composición óptima para la mejora de las propiedades de aislamiento y por ello en el trabajo actual se tomará esta composición para ser evaluada con los diferentes materiales. Al ya ser evaluado mecánicamente y mostrar un resultado de calidad, podemos evaluar la forma medioambiental que representaría al ser utilizado a gran escala, teniendo en cuenta todos los factores que podría representar su uso.

Tabla 9.

Valores de conductividad térmica medidos de los paneles nylon/spandex y poliuretano:

Muestra	Composición	Conductividad térmica (W/mK)
1	100% Nylon/Spandex	0,2630
2	95% Nylon/Spandex 5% Poliuretano	0,2501
3	90% Nylon/Spandex 10% Poliuretano	0,2396
4	85% Nylon/Spandex 15% Poliuretano	0,2348
5	80% Nylon/Spandex 20% Poliuretano	0,2212
6	75% Nylon/Spandex 25% Poliuretano	0,1688
7	70% Nylon/Spandex 30% Poliuretano	0,1149
8	65% Nylon/Spandex 35% Poliuretano	0,1126
9	60% Nylon/Spandex 40% Poliuretano	0,0953
10	55% Nylon/Spandex 45% Poliuretano	0,1339
11	50% Nylon/Spandex 50% Poliuretano	0,1583

12	45% Nylon/Spandex 55% Poliuretano	0,1609
13	40% Nylon/Spandex 60% Poliuretano	0,1666
14	35% Nylon/Spandex 65% Poliuretano	0,1696
15	30% Nylon/Spandex 70% Poliuretano	0,1796

Nota: Dissanayake et al, 2018.

2.5 Evaluación de impacto

2.5.1 Metodología IPCC

La metodología del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) tiene como objetivo evaluar periódicamente el estado del conocimiento sobre la base científica del cambio climático, sus impactos y riesgos futuros, además de proporcionar opciones de adaptación y mitigación (Skea et al, 2021).

En su creación (1988), se establecieron tres grupos los cuales estaban encargados de: evaluar la información científica disponible sobre el cambio climático, evaluar los impactos del cambio climático sobre el medio ambiente y sobre las actividades sociales y económicas y formular estrategias de respuesta. Además, se creó un Comité Especial para la participación de los países en desarrollo para fomentar la participación de estos países en sus actividades.

En el primer informe de evaluación del IPCC (1990), consistió en informes de los tres grupos de trabajo del IPCC, los cuales contienen sus propias conclusiones y proponen pautas de posibles acciones, también esbozan el trabajo a futuro que se llevara a cabo para adquirir un conocimiento más completo de los problemas del cambio climático provocado por las

actividades humanas. Además de los resúmenes para los responsables de políticas de los grupos de trabajo y del comité especial.

En la publicación de 1992, se examinaron las actividades a corto plazo para la actualización del 1990, para ello se examinaron seis actividades:

- Tarea 1: Evaluación de las emisiones netas de gases de efecto invernadero y sus repercusiones.
- Tarea 2: Predicciones de la distribución regional del cambio climático y estudios de impacto conexos, incluidos los estudios de validación de modelos
- Tarea 3: Cuestiones relacionadas con la energía y la industria.
- Tarea 4: Cuestiones relacionadas con la agricultura y la silvicultura.
- Tarea 5: Vulnerabilidad al aumento del nivel del mar.
- Tarea 6: Escenarios de emisiones.

Entre 1996 y 1999 el IPCC desarrolló sus propios escenarios SRES, llamados así por el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (Organisation météorologique mondiale, 1992). Los cuatro escenarios o argumentos como los llama SRES, se dividen en dos dimensiones: preocupación económica (A) o ambientales (B) y patrones de desarrollo global (1) o regional (2), Strandsbjerg et al (2022).

A diferencia del IPCC, los escenarios de emisiones son un trabajo original en lugar de una evaluación de la investigación existente. Estos escenarios están destinados a guiar a las investigaciones científicas, así como a los esfuerzos políticos sobre el cambio climático y otros problemas ambientales Girod et al (2009).

En 2007, se implementó el Consorcio para la Elaboración de Modelos de Evaluación Integrados (IAM), para liderar el desarrollo de nuevos escenarios. Posteriormente el IPCC, organizó otra evaluación en torno a un conjunto de escenarios, los cuales denominó rutas de

concentración representativas (RCP), donde su principal función eran las concentraciones de gases de efecto invernadero en lugar de los factores socioeconómicos.

A finales de esta última evaluación, se desarrollaron cinco rutas socioeconómicas compartidas (SSP), estas se basan en la capacidad de la sociedad para mitigar y adaptarse al cambio climático (Skea et al, 2021).

2.5.2 Metodología CML

Esta metodología se debe a Heijungs et al en 1992 en su escrito Guía y Antecedentes, en el contexto de las políticas de investigación holandesas abiertas a formulaciones de problemas ambientales y a los productos, así como una sociedad tradicionalmente abierta a modelos no convencionales de resolución de problemas y el surgimiento de un equipo que funciona bien de acuerdo con las intenciones básicas, estas condiciones fueron necesarias para el éxito de la elaboración de la metodología CML. A la par, de acuerdo con las políticas del gobierno holandés, los investigadores de CML, querían desarrollar una metodología que funcionara para todo el mundo. Por lo cual, era crucial establecer contactos internacionales, ya que en su momento el CML no era conocido en países extranjeros (Gabathuler,2006).

El Centro de Ciencias Medioambientales de la Universidad de Laiden o el Centro Milieukunde Laden (CML), evalúa el ciclo de vida para comparar productos en función de sus efectos medioambientales mediante cuatro pasos: definición del objetivo, inventario, clasificación y evaluación. En la primera fase, se delimita el objeto de estudio, se identifican las preguntas a las que el estudio debe dar respuesta y se define una unidad funcional. En la segunda fase, se genera un cuadro de la intervención en el entorno para la unidad funcional. Además de la recolección de datos que lo componen y el proceso detallado, se debe integrar un cuadro de inventario de las hipótesis sobre el reciclaje y la distribución. Para la tercera fase, se determina el impacto ambiental potencial de las intervenciones en el medio ambiente. En la última fase, se valoran los resultados de la clasificación.

Para cada problema se definen ciertos factores de clasificación, por ejemplo, para el agotamiento de los recursos abióticos se determina según las reservas conocidas. El agotamiento de los recursos bióticos se midió por el factor de agotamiento biótico, el cual es determinado por las reservas y la relación entre reservas y producción. Para las emisiones de contaminación ambiental, se calcula un factor que determina la contribución de la sustancia a un problema medioambiental, con relación a una sustancia de referencia. En relación con el efecto invernadero, se traducen a emisiones de CO₂-CFC-11 equivalentes, este cálculo de equivalentes por sustancia se basa en la modelización ambiental general, teniendo en cuenta los efectos potenciales, el comportamiento ambiental, la tasa de extinción y el comportamiento ambiental al que se emite la sustancia. Para los daños a los ecosistemas y paisajes el factor es la superficie; para las personas, es el número de víctimas (National Research Council, & Agriculture, 1997).

Tabla 10.

Clasificación de categorías de impacto, unidad equivalente y escala geográfica

Categoría de impacto	Unidades	Escala geográfica
Agotamiento de los recursos abióticos	Kg Sb	Global
Energía	MJ kg	Global
Uso del suelo competitividad		Local
Pérdida soporte vida		Local
Pérdida biodiversidad		Local
Cambio climático	kg CO ₂	Global
Agotamiento ozono	kg CFC-11	Global
Acidificación	kg SO ₂	Continental/Regional/Local/Global
Eutrofización	kg PO ₃	Continental/Regional/Local
Formación foto-oxidantes	kg etileno	Continental/Regional/Local

Toxicidad humana	kg 1,4-DB eq	Continental/Regional/Local/Global
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DB eq	Continental/Regional/Local/Global
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DB eq	Continental/Regional/Local
Ecotoxicidad agua dulce	kg 1,4-DB eq	Continental/Regional/Local/Global
Desecación		Local
Radiaciones		Regional/Local
Olor		Local
Ruido		Local

Nota: Antón Vallejo, 2004.

2.5.3 *Análisis de contribución e influencia*

Acorde con el objetivo y el alcance del estudio se determinó estructurar la información en función de su contribución e influencia. El análisis de la contribución examina su influencia en las etapas del ciclo de vida o de grupos de procesos con respecto al resultado total, este se presenta como un porcentaje total. Para ello se clasifican según los siguientes criterios: (A) tiene una influencia significativa, es decir la más importante, su contribución es $>50\%$; (B) influencia relevante, $25\% < \text{contribución} < 50\%$; (C) alguna influencia, $10\% < \text{contribución} < 25\%$; (D) influencia menor, $2,5\% < \text{contribución} < 10\%$; (E) influencia despreciable, $<2,5\%$. El análisis de la influencia explora la posibilidad de influir en aspectos ambientales ya sea en mayor o menor grado, para ello se indica con las siguientes letras: (A) control significativo, se pueden realizar grandes mejoras, (B) control escaso, con algunas mejoras posibles y (C) sin ningún control (Comité Europeo de Normalización, 2006).

3 Resultados

3.1 Aislantes tradicionales CML

A continuación, mostraremos los resultados que se obtuvieron al calcular los impactos ambientales de los aislantes sin residuos, siguiendo la metodología CML 2000 y para cada una de las categorías de impacto, desde el punto de vista de su caracterización y normalizado.

3.1.1 Corcho

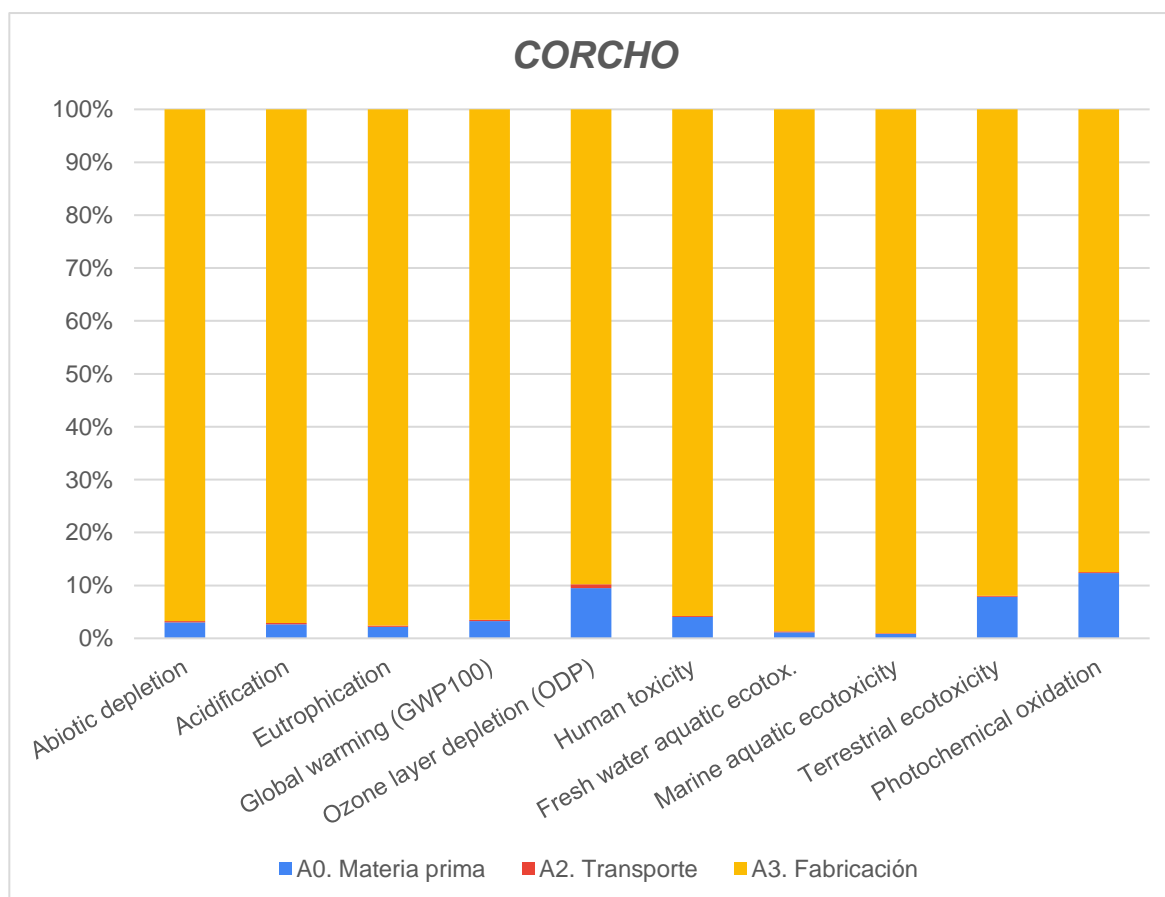
Ahora se exponen los resultados obtenidos para aislante térmico a base de corcho 100%.

- *Caracterización*

Los resultados que se muestran en la siguiente gráfica están ampliados al 100% para mostrar el impacto, en valores absolutos, para ello se sumaron las etapas para cada impacto para obtener un total, y cada etapa se divide en el total.

Figura 2.

Caracterización del aislante térmico corcho



Los valores originales obtenidos y el porcentaje que representan al ser ampliados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11.*Caracterización del aislante térmico de corcho*

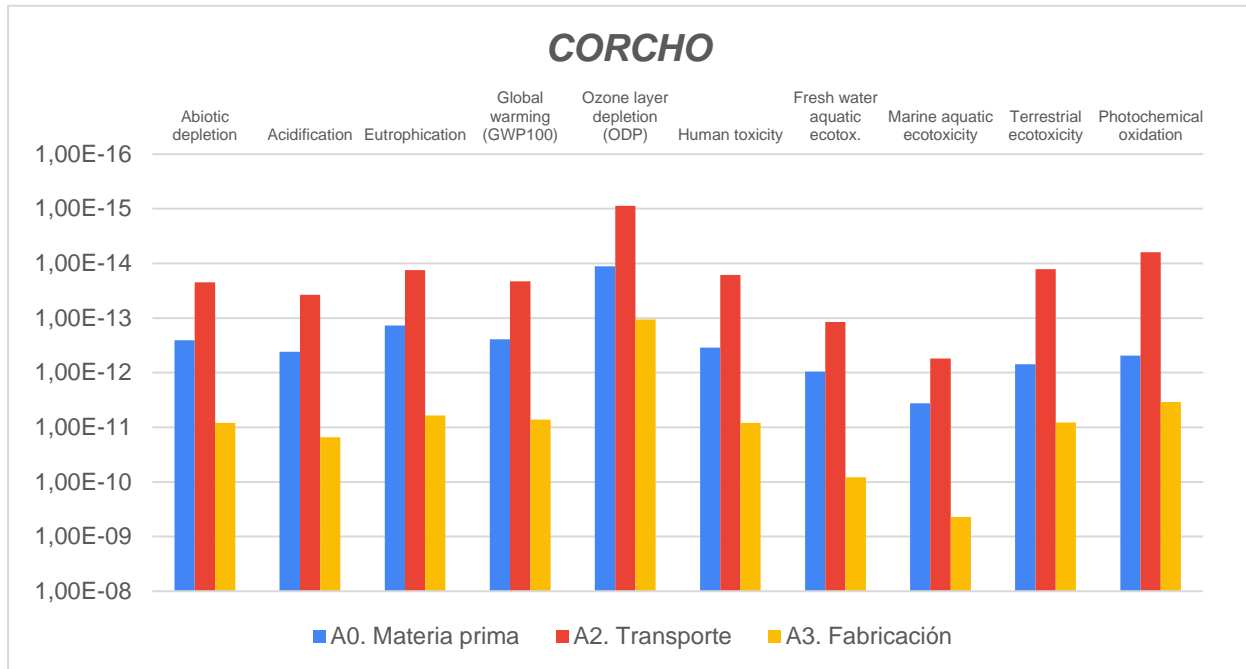
Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	4,38E-04 / 3%	3,81E-05 / 0,26%	1,41E-02 / 96,74%
Acidification (kg SO₂ eq)	2,79E-04 / 2,67%	2,52E-05 / 0,24%	1,01E-02 / 97,09%
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	6,85E-05 / 2,18%	6,69E-06 / 0,21%	3,07E-03 / 97,61%
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	6,16E-02 / 3,24%	5,37E-03 / 0,28%	1,83E+00 / 96,47%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	1,10E-08 / 9,49%	8,70E-10 / 0,75%	1,04E-07 / 89,76%
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	6,50E-02 / 4,02%	3,07E-03 / 0,19%	1,55E+00 / 95,79%
Fresh water aquatic ecotox (kg 1,4-DB eq)	7,24E-03 / 1,15%	8,93E-04 / 0,14%	6,19E-01 / 98,70%
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,16E+01 / 0,82%	1,76E+00 / 0,12%	1,40E+03 / 99,05%
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	6,42E-04 / 7,87%	1,17E-05 / 0,14%	7,51E-03 / 91,99%
Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	8,84E-05 / 12,35%	1,13E-06 / 0,16%	6,26E-04 / 87,49%

- *Normalización*

Al observar los diferentes órdenes de magnitud de los datos trae consigo una visión sesgada de los resultados de normalización, por ello se opta por aplicar una escala logarítmica invertida en el eje de abscisas.

Figura 3.

Normalización del aislante térmico de corcho



Los resultados obtenidos se proporcionarán en una tabla del mismo modo.

Tabla 12. *Normalización del aislante térmico de corcho*

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	2,56E-13	2,23E-14	8,25E-12
Acidification (kg SO₂ eq)	4,16E-13	3,76E-14	1,51E-11
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	1,36E-13	1,33E-14	6,11E-12
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	2,44E-13	2,13E-14	7,26E-12
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	1,13E-14	8,87E-16	1,07E-13
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	3,46E-13	1,64E-14	8,24E-12
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	9,63E-13	1,19E-13	8,23E-11
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	3,64E-12	5,54E-13	4,39E-10
Terrestrial ecotoxicity	7,00E-13	1,28E-14	8,18E-12

(kg 1,4-DB eq)			
Photochemical oxidation	4,85E-13	6,22E-15	3,44E-12
(kg C ₂ H ₄ eq)			

3.1.2 *Fibra de celulosa*

Ahora se exponen los resultados obtenidos para aislante térmico a base de fibra de celulosa (algodón) 100%.

- *Caracterización*

Los resultados que se muestran en la siguiente gráfica están ampliados al 100% para mostrar el impacto, en valores absolutos, para ello se sumaron las etapas para cada impacto para obtener un total, y cada etapa se divide en el total.

Figura 4.

Caracterización de aislante térmico de fibra de celulosa.

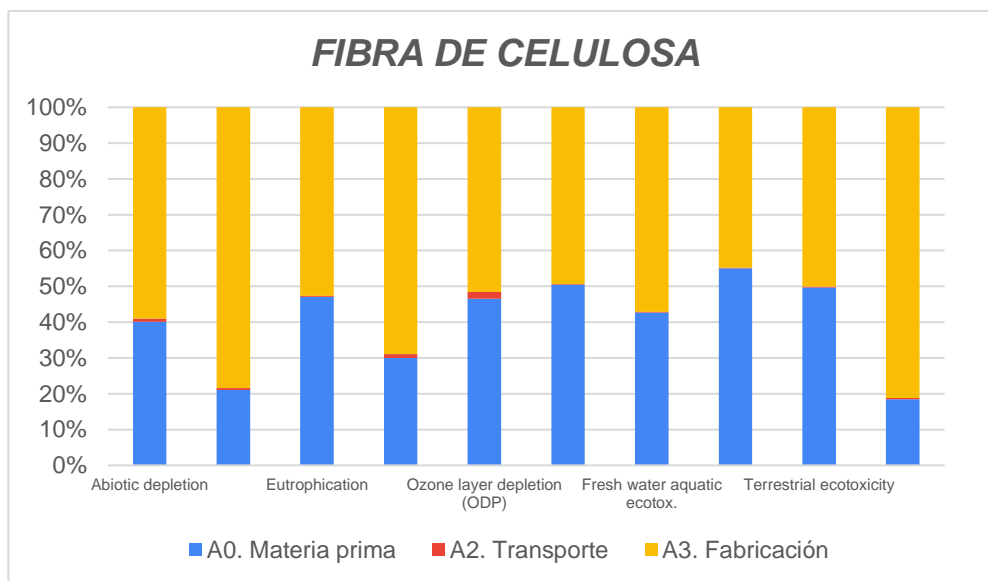


Tabla 13.

Caracterización del aislante térmico de fibra de celulosa.

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	1,70E-03 / 40,08%	3,81E-05 / 0,90%	2,50E-03 / 59,02%
Acidification	1,09E-03 / 21,10%	2,52E-05 / 0,49%	4,04E-03 / 78,42%

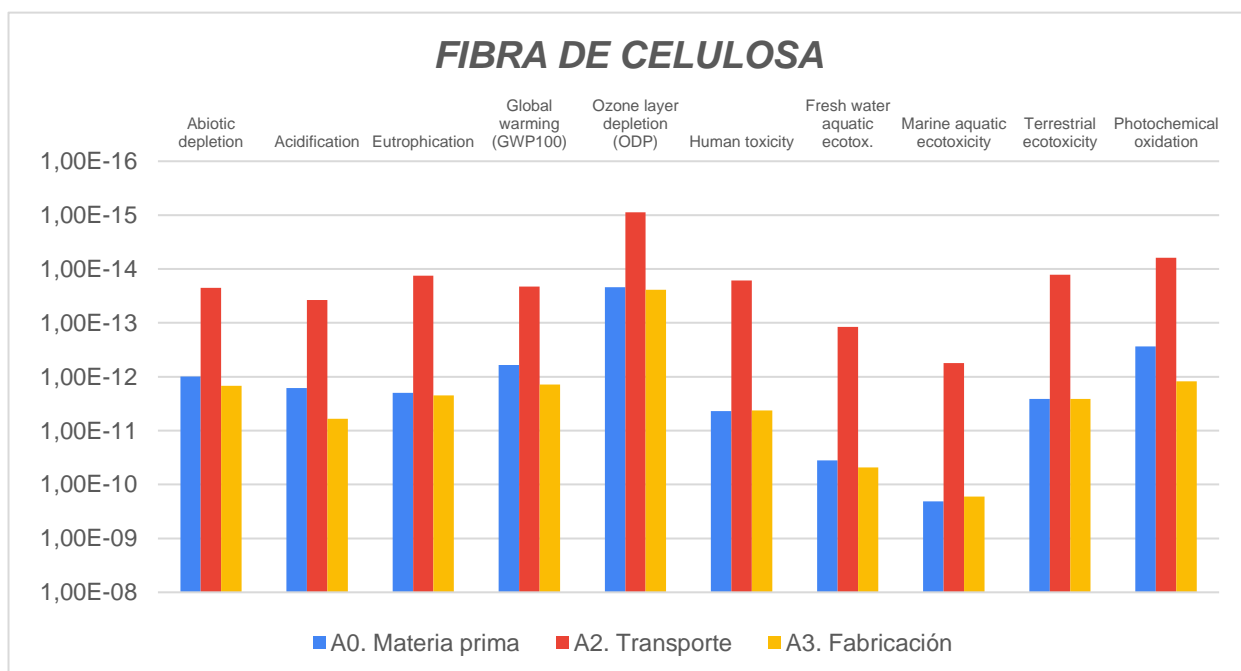
(kg SO ₂ eq)			
Eutrophication	9,97E-04 / 47,06%	6,69E-06 / 0,32%	1,12E-03 / 52,62%
(kg PO ₄₃ eq)			
Global warming (GWP100)	1,53E-01 / 29,97%	5,37E-03 / 1,05%	3,52E-01 / 68,97%
(kg CO ₂ eq)			
Ozone layer depletion (ODP)	2,13E-08 / 46,50%	8,70E-10 / 1,90%	2,37E-08 / 51,60%
(kg CFC-11 eq)			
Human toxicity	8,14E-01 / 50,50%	3,07E-03 / 0,19%	7,95E-01 / 49,31%
(kg 1,4-DB eq)			
Fresh water aquatic ecotox.	2,70E-01 / 42,73%	8,93E-04 / 0,14%	3,61E-01 / 57,13%
(kg 1,4-DB eq)			
Marine aquatic ecotoxicity	6,57E+02 / 55,04%	1,76E+00 / 0,15%	5,35E+02 / 44,81%
(kg 1,4-DB eq)			
Terrestrial ecotoxicity	2,35E-03 / 49,67%	1,17E-05 / 0,25%	2,37E-03 / 50,08%
(kg 1,4-DB eq)			
Photochemical oxidation	5,00E-05 / 18,43%	1,13E-06 / 0,42%	2,20E-04 / 81,15%
(kg C ₂ H ₄ eq)			

- *Normalización*

Al observar los diferentes órdenes de magnitud de los datos trae consigo una visión sesgada de los resultados de normalización, por ello se opta por aplicar una escala logarítmica invertida en el eje de abscisas.

Figura 5.

Normalización del aislante térmico de fibra de celulosa.



Los valores originales obtenidos y el porcentaje que representan al ser ampliados se muestran en la siguiente tabla:

Los resultados obtenidos se proporcionarán en una tabla del mismo modo.

Tabla 14.

Normalización de aislante térmico de fibra de celulosa

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	9,93E-13	2,23E-14	1,46E-12
Acidification (kg SO ₂ eq)	1,62E-12	3,76E-14	6,03E-12
Eutrophication (kg PO ₄₃ eq)	1,98E-12	1,33E-14	2,22E-12
Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	6,05E-13	2,13E-14	1,39E-12
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	2,18E-14	8,87E-16	2,41E-14
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	4,33E-12	1,64E-14	4,23E-12
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	3,59E-11	1,19E-13	4,80E-11
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	2,06E-10	5,54E-13	1,68E-10
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	2,57E-12	1,28E-14	2,59E-12
Photochemical oxidation (kg C ₂ H ₄ eq)	2,74E-13	6,22E-15	1,21E-12

3.1.3 Fibra textil

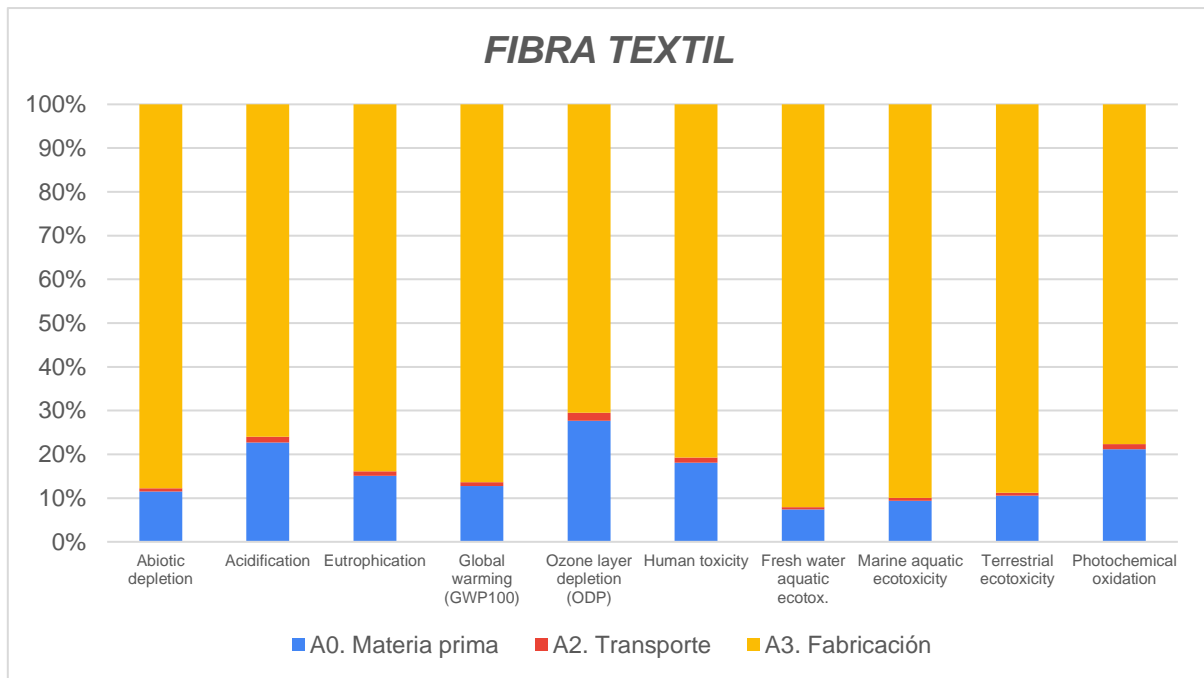
Ahora se exponen los resultados obtenidos para aislante térmico a base de fibra textil (poliestireno) 100%.

- *Caracterización*

Los resultados que se muestran en la siguiente gráfica están ampliados al 100% para mostrar el impacto, en valores absolutos, para ello se sumaron las etapas para cada impacto para obtener un total, y cada etapa se divide en el total.

Figura 6.

Caracterización de aislante térmico de fibra textil.



Los valores originales obtenidos y el porcentaje que representan al ser ampliados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 15.

Caracterización de aislante térmico de fibra textil.

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	5,66E-04 / 11,49%	3,81E-05 / 0,77%	4,32E-03 / 87,73%
Acidification (kg SO₂ eq)	4,25E-04 / 22,68%	2,52E-05 / 1,35%	1,43E-03 / 75,97%
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	1,01E-04 / 15,11%	6,69E-06 / 1%	5,60E-04 / 83,89%
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	7,85E-02 / 12,76%	5,37E-03 / 0,87%	5,31E-01 / 86,36%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	1,33E-08 / 27,67%	8,70E-10 / 1,81%	3,39E-08 / 70,53%
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	4,50E-02 / 18,06%	3,07E-03 / 1,23%	2,01E-01 / 80,71%
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	1,23E-02 / 7,38%	8,93E-04 / 0,54%	1,53E-01 / 92,09%
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	2,57E+01 / 9,40%	1,76E+00 / 0,65%	2,46E+02 / 89,96%

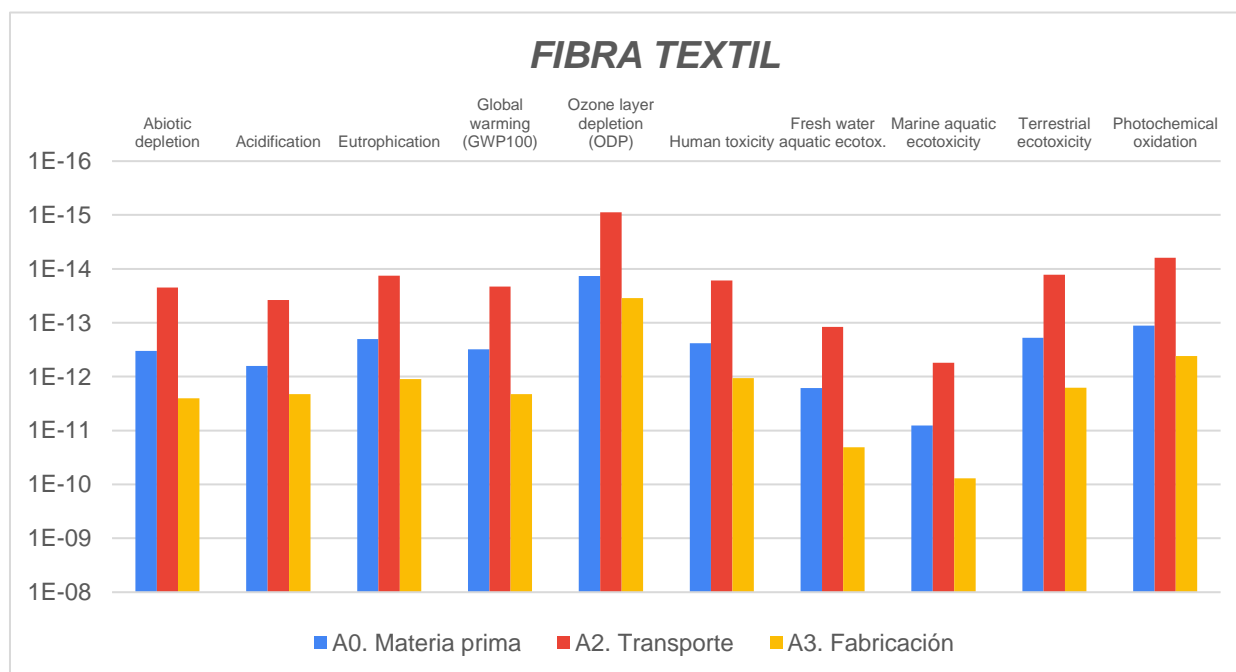
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,74E-04 / 10,53%	1,17E-05 / 0,71%	1,47E-03 / 88,76%
Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	2,05E-05 / 21,19%	1,13E-06 / 1,17%	7,52E-05 / 77,64%

- *Normalización*

Al observar los diferentes órdenes de magnitud de los datos trae consigo una visión sesgada de los resultados de normalización, por ello se opta por aplicar una escala logarítmica invertida en el eje de abscisas.

Figura 7.

Normalización de aislante térmico de fibra textil.



Los resultados obtenidos se proporcionarán en una tabla del mismo modo.

Tabla 16.

Normalización de aislante térmico de fibra textil.

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	3,31176E-13	2,23008E-14	2,528E-12
Acidification (kg SO₂ eq)	6,33886E-13	3,75921E-14	2,12341E-12
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	2,00587E-13	1,33114E-14	1,1136E-12

Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	3,10792E-13	2,12632E-14	2,10295E-12
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	1,35693E-14	8,87131E-16	3,45916E-14
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	2,39315E-13	1,63561E-14	1,06954E-12
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	1,63387E-12	1,18764E-13	2,03963E-11
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	8,06644E-12	5,53918E-13	7,71979E-11
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,90082E-13	1,27906E-14	1,60147E-12
Photochemical oxidation (kg C ₂ H ₄ eq)	1,12703E-13	6,21855E-15	4,12826E-13

3.1.4 Comparativa: aislantes tradicionales

Al realizar estos ACV podemos evidenciar si al incorporar residuos hay una mejora en los impactos estudiados para la fabricación de aislantes térmicos y acústicos. Para evaluar si hay una mejora, podemos ver los gráficos presentados anteriormente, además podemos encontrar una comparativa entre los tres aislantes para evidenciar el aislante de menor impacto de acuerdo con las categorías estudiadas. Al realizar esta comparativa se tomaron los datos totales de caracterización de cada de una de las categorías de los aislantes tradicionales y se dividieron entre el que tuviera mayor impacto de acuerdo con la categoría, en la siguiente tabla se muestra el valor total y el porcentaje.

Tabla 17.

Comparativa de aislantes tradicionales.

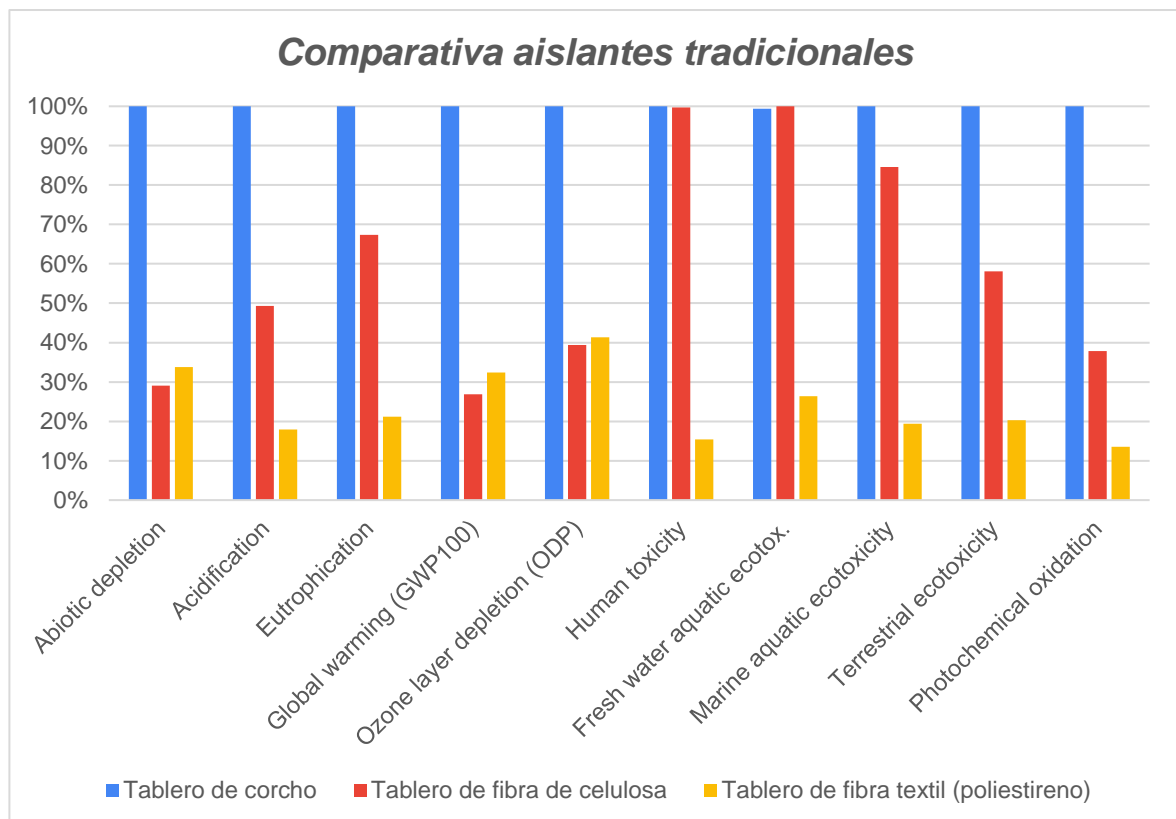
Categorías de impacto	Corcho	Fibra de celulosa	Fibra textil
Abiotic depletion (kg Sb eq)	1,46E-02 / 100%	4,23E-03 / 29%	4,93E-03 / 34%
Acidification (kg SO ₂ eq)	1,05E-02 / 100%	5,16E-03 / 49%	1,88E-03 / 18%
Eutrophication (kg PO ₄₃ eq)	3,15E-03 / 100%	2,12E-03 / 67%	6,67E-04 / 21%
Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	1,90E+00 / 100%	5,10E-01 / 27%	6,15E-01 / 32%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	1,16E-07 / 100%	4,59E-08 / 39%	4,81E-08 / 41%
Human toxicity	1,62E+00 / 100%	1,61E+00 / 100%	2,49E-01 / 15%

(kg 1,4-DB eq)			
Fresh water aquatic ecotox.	6,27E-01 / 99%	6,31E-01 / 100%	1,67E-01 / 26%
(kg 1,4-DB eq)			
Marine aquatic ecotoxicity	1,41E+03 / 100%	1,19E+03 / 85%	2,73E+02 / 19%
(kg 1,4-DB eq)			
Terrestrial ecotoxicity	8,16E-03 / 100%	4,74E-03 / 58%	1,66E-03 / 20%
(kg 1,4-DB eq)			
Photochemical oxidation	7,16E-04 / 100%	2,71E-04 / 38%	9,69E-05 / 14%
(kg C₂H₄ eq)			

Estos datos podemos representarlos en la siguiente gráfica.

Figura 8.

Comparativa de aislantes tradicionales metodología CML.



3.1.5 *Análisis orientado al impacto de los aislantes tradicionales*

Primero realizaremos una evaluación general de cada uno de los aislantes térmicos y acústicos tradicionales. Comenzando con el tablero de corcho, las materias primas las cuales representan el 0,83% de la contribución lo que tendría influencia despreciable y el grado de

influencia sería C, sin control alguno. La fase de extracción no se considera en ninguno de los ACV de los aislantes térmicos y acústicos, debido a la bibliografía utilizada en el presente trabajo, las materias primas eran utilizadas sin algún tratamiento previo para su fabricación. La fase relacionada con el transporte representa un porcentaje menor con 0,13%, lo cual tendría una influencia despreciable y el grado de influencia sería C, sin control, esto se debe a los sistemas de transporte de productos actuales. Al ser una contribución tan pequeña, no es prioridad su reducción. Para finalizar, la fase de fabricación se aprecia que es la de mayor contribución con un 99,05%, presenta una influencia significativa y el grado de influencia sería A, ya que al tener un control más significativo podemos obtener grandes mejoras, por ejemplo, mejorando la eficiencia en la trituradora, el horno de la caldera, el sistema de prensado, entre otros.

La fibra de celulosa, la cual es a partir de algodón en la etapa de materia prima podemos observar que tiene una influencia significativa con un 55,01% de contribución y podría tener un grado de control B, un control escaso ya que, al ser la materia prima, lo que podríamos mejorar es la calidad del algodón para los tableros. Además, podemos observar que es por encima la influencia que tiene en comparación del corcho. La segunda etapa, representa un 0,14% de influencia, la cual es despreciable y tiene un grado de influencia C, al igual que el corcho su influencia es baja, y su porcentaje es casi igual que el corcho. La tercera etapa, tiene una influencia del 44,83% la cual es relevante y con un grado de influencia de A, como podemos evidenciar, aunque su influencia es importante en comparación con el corcho el porcentaje disminuye más del 50%. Con estas pequeñas comparaciones podemos ver que hay muchas variables a considerar para la elección de cierto material u otro para la creación de aislantes térmicos y acústicos.

Para la fibra textil, se tomó fibras de poliestireno 100% recicladas, para la etapa de materia prima hay una influencia menor con una contribución de 9,41% y continuaría

manteniendo un grado de control B, con algunas posibles mejoras. En el transporte, se tiene un umbral menor a 2,5%, una influencia despreciable y conserva su grado C. La última etapa de fabricación volvería a tener una gran importancia con una contribución del 89,94% y el grado de influencia también sería A. Observamos que su influencia es mayor a la fibra de celulosa, pero menor al corcho.

3.2 Aislantes con residuos CML

A continuación, mostraremos los resultados que se obtuvieron al calcular los impactos ambientales de los aislantes con residuos, siguiendo la metodología CML 2000 y para cada una de las categorías de impacto, desde el punto de vista de su caracterización y normalizado.

3.2.1 Poliuretano + 50% Corcho

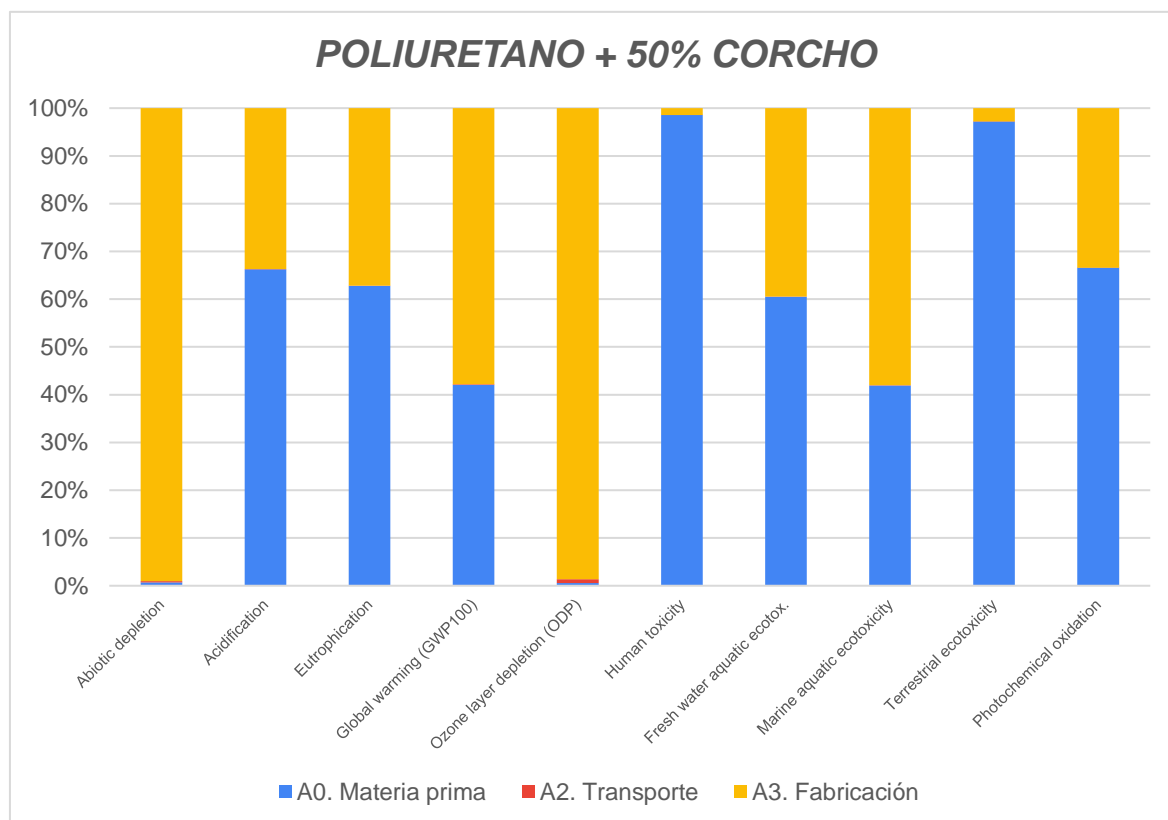
Ahora se exponen los resultados obtenidos para aislante térmico a base de poliuretano y con 50% de residuos de corcho.

- ***Caracterización***

Los resultados que se muestran en la siguiente gráfica están ampliados al 100% para mostrar el impacto, en valores absolutos, para ello se sumaron las etapas para cada impacto para obtener un total, y cada etapa se divide en el total.2

Figura 9.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 50% residuos de corcho



Los valores originales obtenidos y el porcentaje que representan al ser ampliados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 18.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 50% residuos de corcho

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	1,00E-04 / 0,70%	3,81E-05 / 0,27%	1,41E-02 / 99,03%
Acidification (kg SO ₂ eq)	2,00E-02 / 66,24%	2,52E-05 / 0,08%	1,01E-02 / 33,68%
Eutrophication (kg PO ₄₃ eq)	5,19E-03 / 62,77%	6,69E-06 / 0,08%	3,07E-03 / 37,15%
Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	1,33E+00 / 42,05%	5,37E-03 / 0,17%	1,83E+00 / 57,78%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	5,94E-10 / 0,56%	8,70E-10 / 0,82%	1,04E-07 / 98,62%
Human toxicity	1,07E+02 / 98,57%	3,07E-03 / 0,003%	1,55E+00 / 1,43%

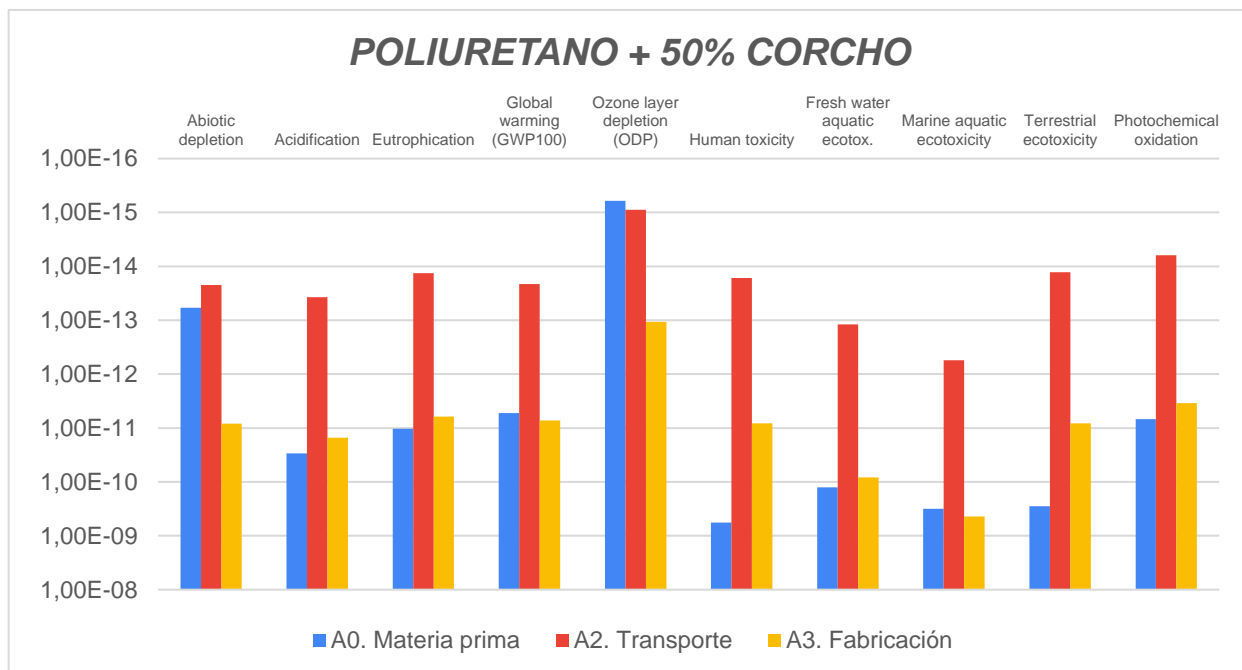
(kg 1,4-DB eq)			
Fresh water aquatic ecotox.	9,49E-01 / 60,50%	8,93E-04 / 0,06%	6,19E-01 / 39,45%
(kg 1,4-DB eq)			
Marine aquatic ecotoxicity	1,01E+03 / 41,92%	1,76E+00 / 0,07%	1,40E+03 / 58,01%
(kg 1,4-DB eq)			
Terrestrial ecotoxicity	2,60E-01 / 97,19%	1,17E-05 / 0,004%	7,51E-03 / 2,81%
(kg 1,4-DB eq)			
Photochemical oxidation	1,25E-03 / 66,55%	1,13E-06 / 0,06%	6,26E-04 / 33,39%
(kg C₂H₄ eq)			

- *Normalización*

Al observar los diferentes órdenes de magnitud de los datos trae consigo una visión sesgada de los resultados de normalización, por ello se opta por aplicar una escala logarítmica invertida en el eje de abscisas.

Figura 10.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 50% residuos de corcho.



Los resultados obtenidos se proporcionarán en una tabla del mismo modo.

Tabla 19.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 50% residuos de corcho.

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	5,87E-14	2,23E-14	8,25E-12
Acidification (kg SO ₂ eq)	2,97E-11	3,76E-14	1,51E-11
Eutrophication (kg PO ₄₃ eq)	1,03E-11	1,33E-14	6,11E-12
Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	5,28E-12	2,13E-14	7,26E-12
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	6,06E-16	8,87E-16	1,07E-13
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	5,69E-10	1,64E-14	8,24E-12
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	1,26E-10	1,19E-13	8,23E-11
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	3,17E-10	5,54E-13	4,39E-10
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	2,83E-10	1,28E-14	8,18E-12
Photochemical oxidation (kg C ₂ H ₄ eq)	6,85E-12	6,22E-15	3,44E-12

3.2.2 Poliuretano + 60% Corcho

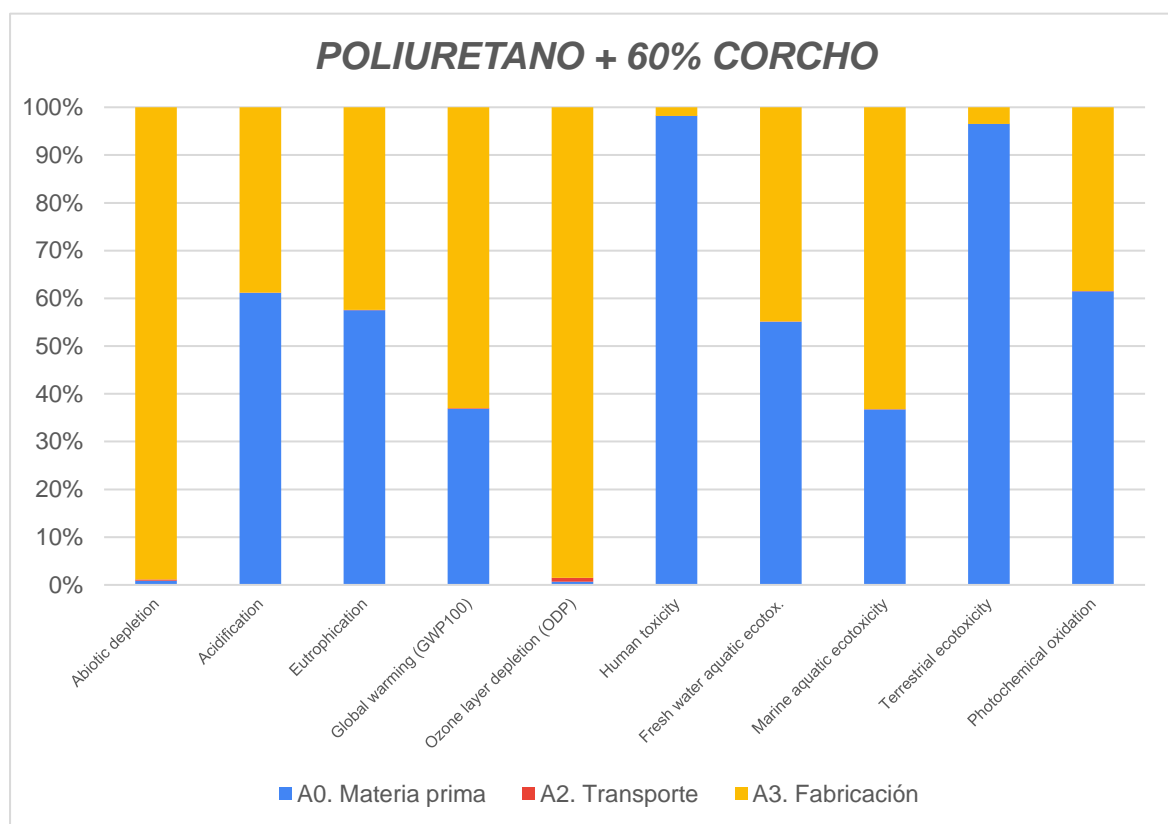
Ahora se exponen los resultados obtenidos para aislante térmico a base de poliuretano y con 60% de residuos de corcho.

- *Caracterización*

Los resultados que se muestran en la siguiente gráfica están ampliados al 100% para mostrar el impacto, en valores absolutos, para ello se sumaron las etapas para cada impacto para obtener un total, y cada etapa se divide en el total.

Figura 11.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de corcho.



Los valores originales obtenidos y el porcentaje que representan al ser ampliados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 20.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de corcho.

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	1,20E-04 / 0,84%	3,81E-05 / 0,27%	1,41E-02 / 98,89%
Acidification (kg SO₂ eq)	1,60E-02 / 61,12%	2,52E-05 / 0,10%	1,01E-02 / 38,79%
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	4,16E-03 / 57,49%	6,69E-06 / 0,09%	3,07E-03 / 42,42%
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	1,07E+00 / 36,84%	5,37E-03 / 0,18%	1,83E+00 / 62,97%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	7,13E-10 / 0,67%	8,70E-10 / 0,82%	1,04E-07 / 98,51%
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	8,55E+01 / 98,22%	3,07E-03 / 0,004%	1,55E+00 / 1,78%
Fresh water aquatic ecotox.	7,62E-01 / 55,13%	8,93E-04 / 0,06%	6,19E-01 / 44,80%

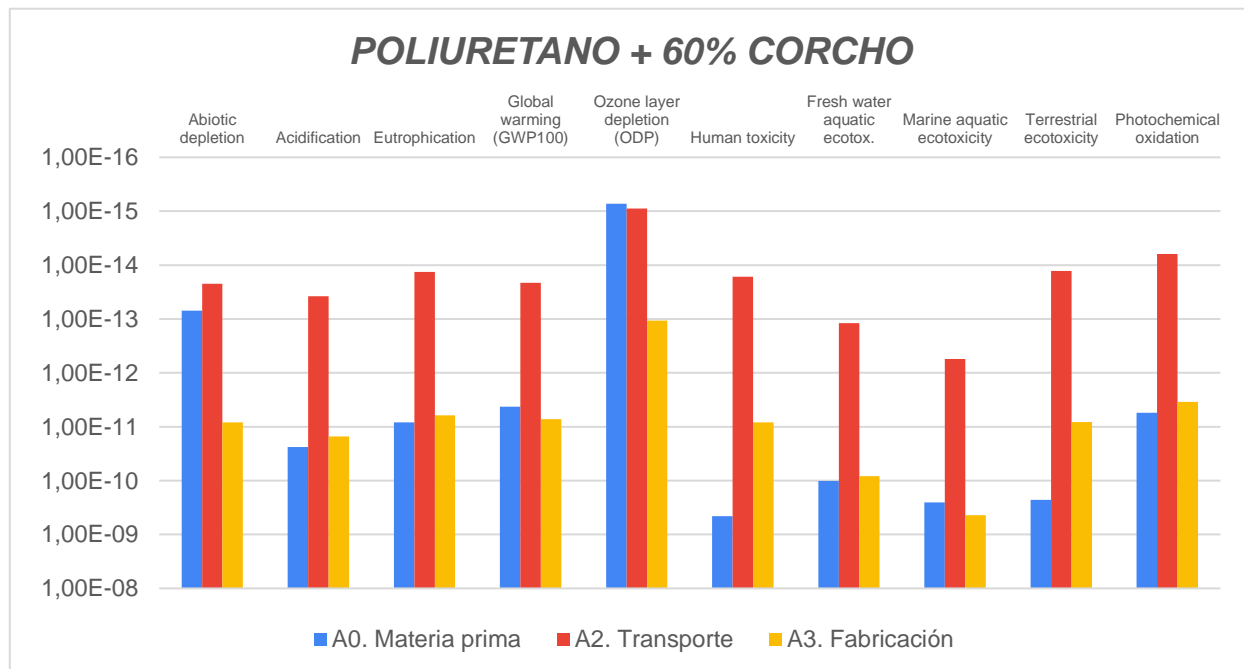
(kg 1,4-DB eq)			
Marine aquatic ecotoxicity	8,13E+02 / 36,73%	1,76E+00 / 0,08%	1,40E+03 / 63,19%
(kg 1,4-DB eq)			
Terrestrial ecotoxicity	2,08E-01 / 96,51%	1,17E-05 / 0,01%	7,51E-03 / 3,49%
(kg 1,4-DB eq)			
Photochemical oxidation	1,00E-03 / 61,44%	1,13E-06 / 0,07%	6,26E-04 / 38,49%
(kg C ₂ H ₄ eq)			

- *Normalización*

Al observar los diferentes órdenes de magnitud de los datos trae consigo una visión sesgada de los resultados de normalización, por ello se opta por aplicar una escala logarítmica invertida en el eje de abscisas.

Figura 12.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de corcho.



Los resultados obtenidos se proporcionarán en una tabla del mismo modo.

Tabla 21.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de corcho.

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	7,05E-14	2,23E-14	8,25E-12
Acidification (kg SO ₂ eq)	2,38E-11	3,76E-14	1,51E-11
Eutrophication (kg PO ₄₃ eq)	8,28E-12	1,33E-14	6,11E-12
Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	4,25E-12	2,13E-14	7,26E-12
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	7,27E-16	8,87E-16	1,07E-13
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	4,55E-10	1,64E-14	8,24E-12
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	1,01E-10	1,19E-13	8,23E-11
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	2,55E-10	5,54E-13	4,39E-10
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	2,26E-10	1,28E-14	8,18E-12
Photochemical oxidation (kg C ₂ H ₄ eq)	5,49E-12	6,22E-15	3,44E-12

3.2.3 Poliuretano + 70% Corcho

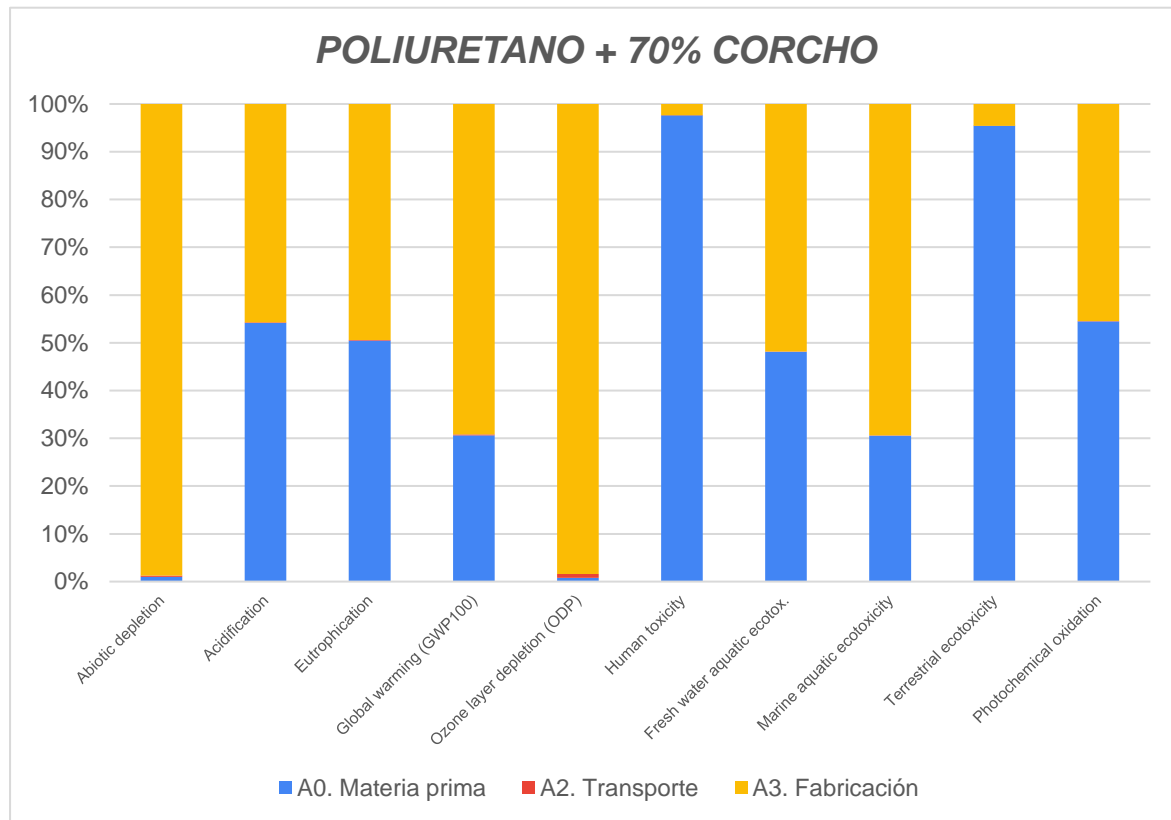
Ahora se exponen los resultados obtenidos para aislante térmico a base de poliuretano y con 70% de residuos de corcho.

- *Caracterización*

Los resultados que se muestran en la siguiente gráfica están ampliados al 100% para mostrar el impacto, en valores absolutos, para ello se sumaron las etapas para cada impacto para obtener un total, y cada etapa se divide en el total.

Figura 13.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 70% residuos de corcho.



Los valores originales obtenidos y el porcentaje que representan al ser ampliados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 22.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 70% residuos de corcho.

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	1,41E-04 / 0,98%	3,81E-05 / 0,27%	1,41E-02 / 98,75%
Acidification (kg SO₂ eq)	1,20E-02 / 54,17%	2,52E-05 / 0,11%	1,01E-02 / 45,72%
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	3,14E-03 / 50,47%	6,69E-06 / 0,11%	3,07E-03 / 49,42%
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	8,11E-01 / 30,62%	5,37E-03 0,20%	1,83E+00 / 69,18%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	8,32E-10 / 0,72%	8,70E-10 / 0,82%	1,04E-07 / 98,40%
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	6,41E+01 / 97,64%	3,07E-03 / 0,005%	1,55E+00 / 2,36%
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	5,74E-01 / 48,08%	8,93E-04 / 0,07%	6,19E-01 / 51,84%
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	6,15E+02 / 30,53%	1,76E+00 / 0,09%	1,40E+03 / 69,38%

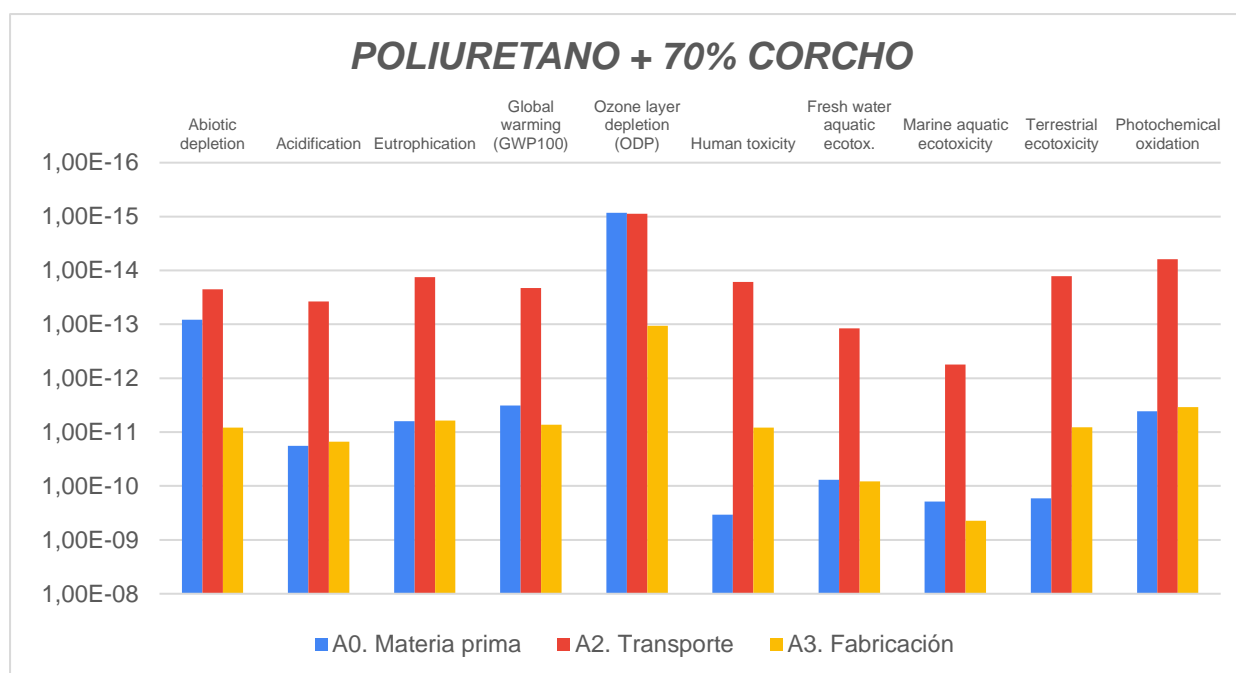
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,56E-01 / 95,40%	1,17E-05 / 0,01%	7,51E-03 / 4,60%
Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	7,51E-04 / 54,48%	1,13E-06 / 0,08%	6,26E-04 / 45,44%

- *Normalización*

Al observar los diferentes órdenes de magnitud de los datos trae consigo una visión sesgada de los resultados de normalización, por ello se opta por aplicar una escala logarítmica invertida en el eje de abscisas.

Figura 14.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 70% residuos de corcho.



Los resultados obtenidos se proporcionarán en una tabla del mismo modo.

Tabla 23.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 70% residuos de corcho.

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	8,22E-14	2,23E-14	8,25E-12

Acidification (kg SO₂ eq)	1,79E-11	3,76E-14	1,51E-11
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	6,24E-12	1,33E-14	6,11E-12
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	3,21E-12	2,13E-14	7,26E-12
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	8,49E-16	8,87E-16	1,07E-13
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	3,41E-10	1,64E-14	8,24E-12
Fresh water aquatic ecotox (kg 1,4-DB eq)	7,64E-11	1,19E-13	8,23E-11
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,93E-10	5,54E-13	4,39E-10
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,70E-10	1,28E-14	8,18E-12
Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	4,12E-12	6,22E-15	3,44E-12

3.2.4 Comparativa: aislantes con residuos de corcho

Al realizar estos ACV podemos evidenciar si al incorporar residuos hay una mejora en los impactos estudiados para la fabricación de aislantes térmicos y acústicos. Para evaluar si hay una mejora, podemos ver el siguiente gráfico, el cual nos muestra el aislante tradicional a base de 100% corcho y los tres aislantes de poliuretano con residuos de corcho. Al realizar esta comparativa se tomaron los datos totales de caracterización de cada de una de las categorías de los aislantes tradicionales y se dividieron entre el que tuviera mayor impacto de acuerdo con la categoría, en la siguiente tabla se muestra el valor total y el porcentaje.

Tabla 24 Comparativa de aislantes a base de corcho

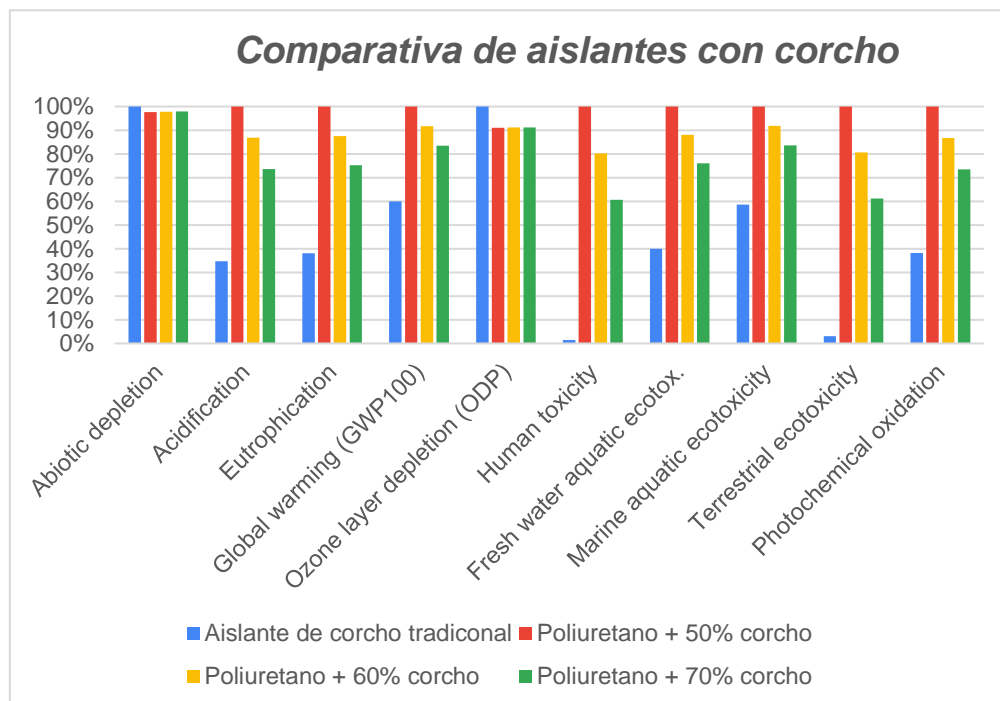
Categorías de impacto	Corcho	PU	PU	PU
		50%Corcho	60%Corcho	70%Corcho
Abiotic depletion (kg Sb eq)	1,46E-02 / 100%	1,42E-02 / 97,69%	1,43E-02 / 97,82%	1,43E-02 / 97,96%
Acidification (kg SO₂ eq)	1,05E-02 / 100%	3,01E-02 / 100%	2,62E-02 / 86,83%	2,22E-02 / 73,66%
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	3,15E-03 / 100%	8,27E-03 / 100%	7,24E-03 / 87,58%	6,21E-03 / 75,17%

Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	1,90E+00 / 100%	3,17E+00 / 100%	2,91E+00 / 91,76%	2,65E+00 / 83,52%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	1,16E-07 / 100%	1,06E-07 / 91,02%	1,06E-07 / 91,12%	1,06E-07 / 91,22%
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	1,62E+00 / 100%	1,08E+02 / 100%	8,71E+01 / 80,29%	6,57E+01 / 60,58%
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	6,27E-01 / 99%	1,57E+00 / 100%	1,38E+00 / 88,04%	1,19E+00 / 76,09%
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,41E+03 / 100%	2,41E+03 / 100%	2,21E+03 / 91,81%	2,02E+03 / 83,61%
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	8,16E-03 / 100%	2,67E-01 / 100%	2,15E-01 / 80,57	1,63E-01 / 61,14%
Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	7,16E-04 / 100%	1,88E-03 / 100%	1,63E-03 / /86,74	1,38E-03 / 73,48%

Estos datos podemos representarlos en la siguiente figura.

Figura 15.

Comparativa de aislantes a base de corcho metodología CML.



3.2.5 *Análisis orientado al impacto de los aislantes con residuos de corcho*

Primero realizaremos una evaluación general de la adición de corcho en porcentajes de 50%, 60% y 70%. Las materias primas en los porcentajes de adición aumentan y representan entre el 32 y 44% de la contribución por lo que tendría una influencia relevante ya que podemos modificar las cantidades de los residuos, el grado de influencia sería B, con un control escaso y algunas posibles mejoras. La etapa de transporte no sufrió grandes modificaciones con contribuciones menores al 0,1%, lo que corresponde a una influencia despreciable y un grado de influencia C. La etapa de fabricación el porcentaje de influencia disminuye un 55,56%, 60,85% y 67,25% respectivamente, lo cual supone una influencia significativa y un valor A en el grado de influencia, al ser un proceso podemos modificar y generar mejoras para disminuir su impacto.

La tabla 24 y la gráfica 14 muestra los resultados de los impactos causados por la utilización de residuos de corcho, podemos ver que en las categorías de agotamiento abiótico y agotamiento de la capa de ozono (ODP) presentan una reducción de impacto aproximadamente de 2% y 8,9% respectivamente. Sin embargo, para los aislantes con residuos si valor es casi igual entre 97% y 91% para cada categoría respectivamente. En el resto de las categorías se evidencia que no hay una mejora con respecto a utilizar 100% corcho. Pero se observa que entre los aislantes con adición de residuos el que causa mayor impacto en casi todas las categorías es el aislante con 50% de residuos de corcho. De igual manera, al comparar los aislantes con adición, al incorporar 70% de residuo de corcho, es el aislante que causa menor impacto, en las categorías que más se evidencia esta disminución son: Ecotoxicidad terrestre, Toxicidad humana, Acidificación y Eutrofización.

3.2.6 *Poliuretano + 10% fibra de algodón*

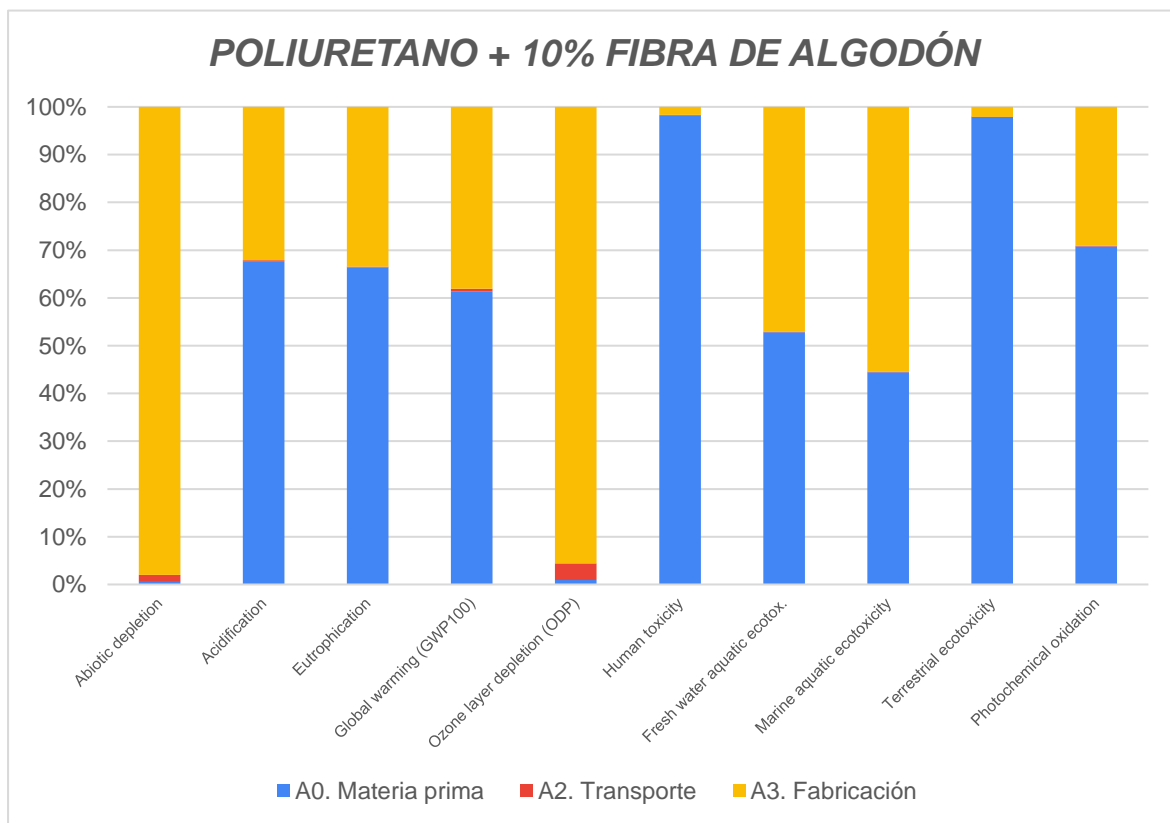
Ahora se exponen los resultados obtenidos para aislante térmico a base de poliuretano y con 10% de residuos de fibra de algodón.

- *Caracterización*

Los resultados que se muestran en la siguiente gráfica están ampliados al 100% para mostrar el impacto, en valores absolutos, para ello se sumaron las etapas para cada impacto para obtener un total, y cada etapa se divide en el total.

Figura 16.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 10% residuos de fibra de algodón.



Los valores originales obtenidos y el porcentaje que representan al ser ampliados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 25.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 10% residuos de fibra de algodón

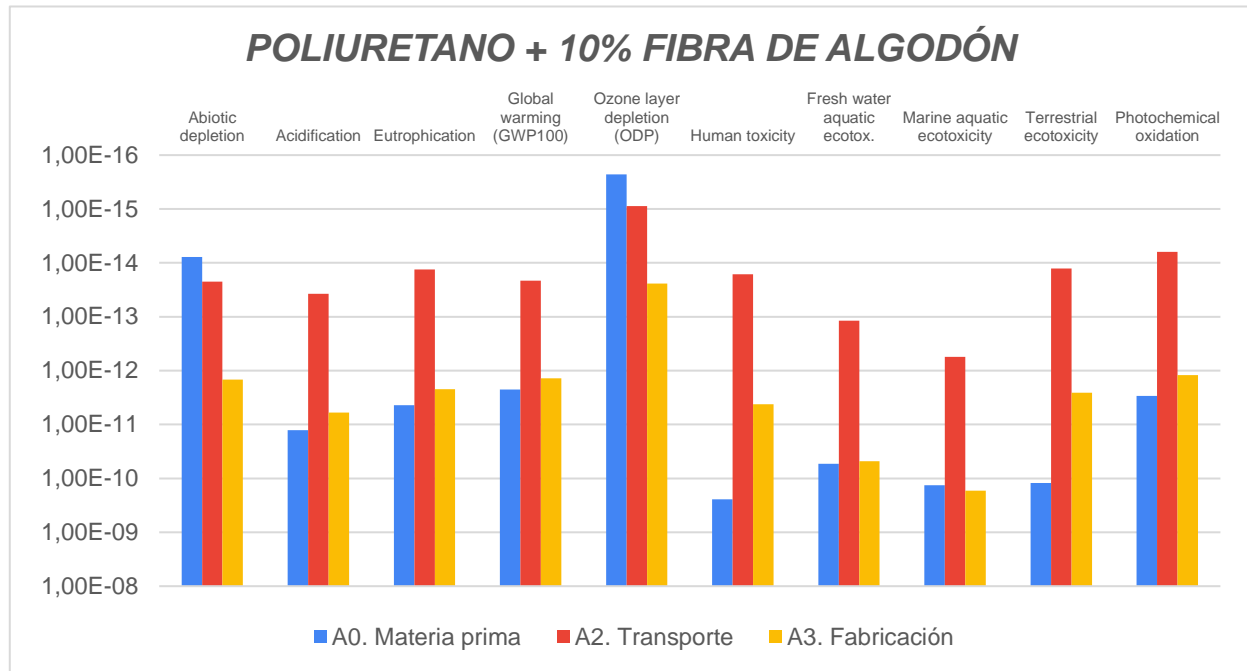
Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	1,33E-05 / 0,52%	3,81E-05 / 1,49%	2,50E-03 / 97,99%
Acidification (kg SO ₂ eq)	8,54E-03 / 67,72%	2,52E-05 / 0,20%	4,04E-03 / 32,08%
Eutrophication (kg PO ₄₃ eq)	2,21E-03 / 66,38%	6,69E-06 / 0,20%	1,12E-03 / 33,42%
Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	5,68E-01 / 61,37%	5,37E-03 / 0,58%	3,52E-01 / 38,05%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	2,23E-10 / 0,90%	8,70E-10 / 3,51%	2,37E-08 / 95,59%
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	4,58E+01 / 98,29%	3,07E-03 / 0,01%	7,95E-01 / 1,71%
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	4,05E-01 / 52,83%	8,93E-04 / 0,12%	3,61E-01 / 47,05%
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	4,29E+02 / 44,42%	1,76E+00 / 0,18%	5,35E+02 / 55,40%
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,11E-01 / 97,90%	1,17E-05 / 0,01%	2,37E-03 / 2,09%
Photochemical oxidation (kg C ₂ H ₄ eq)	5,35E-04 / 70,77%	1,13E-06 / 0,15%	2,20E-04 / 29,08%

- *Normalización*

Al observar los diferentes órdenes de magnitud de los datos trae consigo una visión sesgada de los resultados de normalización, por ello se opta por aplicar una escala logarítmica invertida en el eje de abscisas.

Figura 17.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 10% residuos de fibra de algodón.



Los resultados obtenidos se proporcionarán en una tabla del mismo modo.

Tabla 26.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 10% residuos de fibra de algodón

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	7,76E-15	2,23E-14	1,46E-12
Acidification (kg SO₂ eq)	1,27E-11	3,76E-14	6,03E-12
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	4,41E-12	1,33E-14	2,22E-12
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	2,25E-12	2,13E-14	1,39E-12
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	2,28E-16	8,87E-16	2,41E-14
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	2,44E-10	1,64E-14	4,23E-12
Fresh water aquatic ecotox.(kg 1,4-DB eq)	5,39E-11	1,19E-13	4,80E-11
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,35E-10	5,54E-13	1,68E-10

Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,21E-10	1,28E-14	2,59E-12
Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	2,94E-12	6,22E-15	1,21E-12

3.2.7 Poliuretano + 20% fibra de algodón

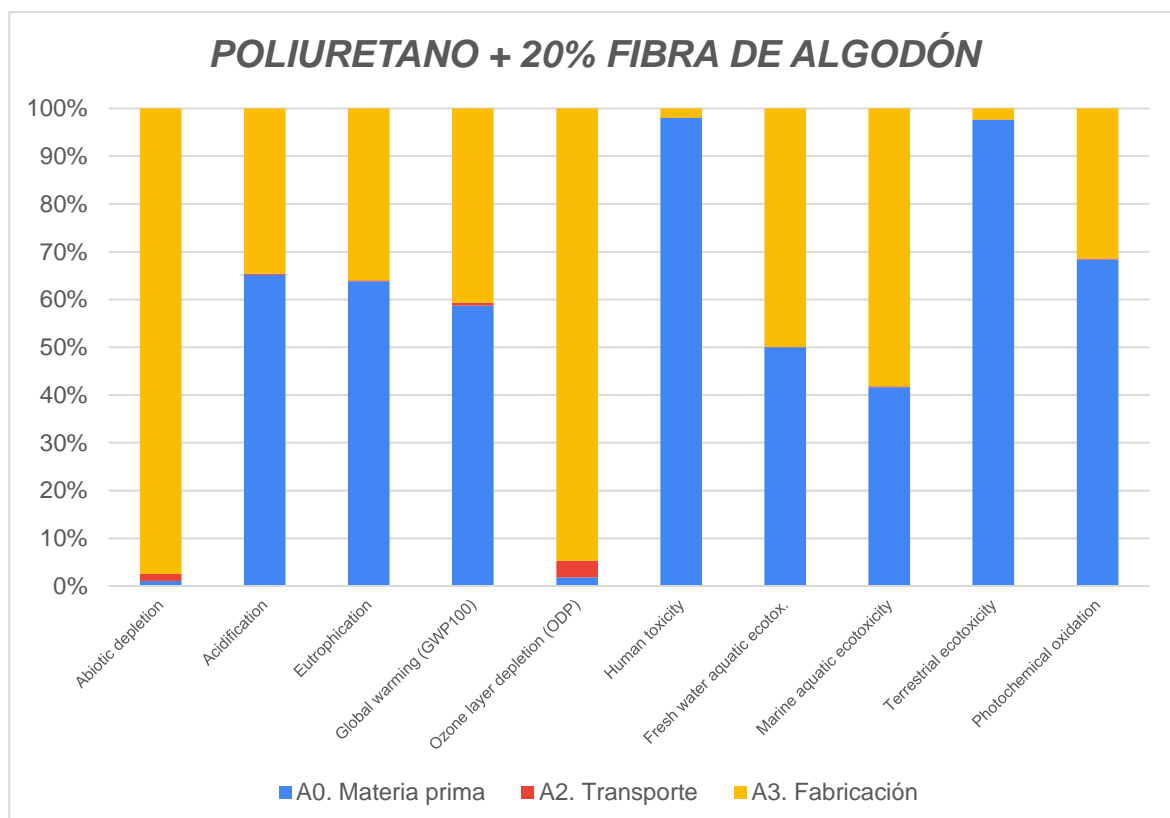
Ahora se exponen los resultados obtenidos para aislante térmico a base de poliuretano y con 20% de residuos de fibra de algodón.

- *Caracterización*

Los resultados que se muestran en la siguiente gráfica están ampliados al 100% para mostrar el impacto, en valores absolutos, para ello se sumaron las etapas para cada impacto para obtener un total, y cada etapa se divide en el total.

Figura 18.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 20% residuos de fibra de algodón.



Los valores originales obtenidos y el porcentaje que representan al ser ampliados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 27.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 20% residuos de fibra de algodón.

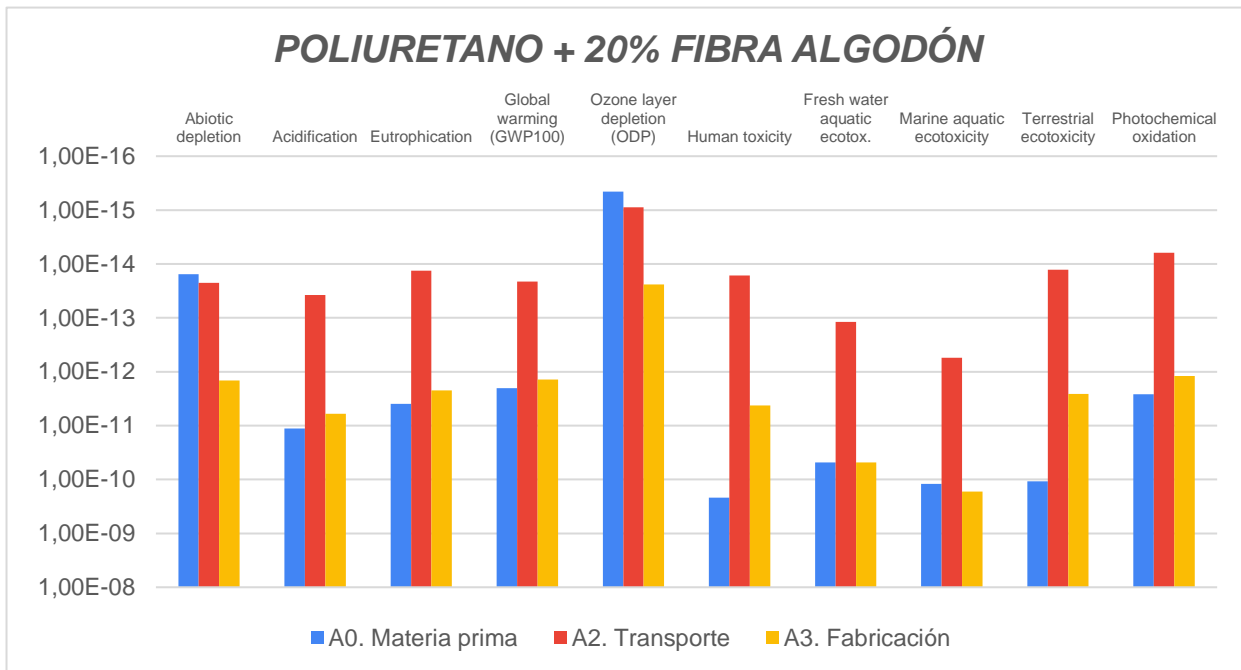
Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	2,65E-05 / 1,03%	3,81E-05 / 1,49%	2,50E-03 / 97,48%
Acidification (kg SO₂ eq)	7,61E-03 / 65,17%	2,52E-05 / 0,22%	4,04E-03 / 34,62%
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	1,98E-03 / 63,79%	6,69E-06 / 0,22%	1,12E-03 / 36%
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	5,07E-01 / 58,68%	5,37E-03 / 0,62%	3,52E-01 / 40,70%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	4,46E-10 / 1,79%	8,70E-10 / 3,48%	2,37E-08 / 94,73%
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	4,07E+01 / 98,08%	3,07E-03 / 0,01%	7,95E-01 / 1,91%
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	3,61E-01 / 49,97%	8,93E-04 / 0,12%	3,61E-01 / 49,91%
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	3,83E+02 / 41,64%	1,76E+00 / 0,19%	5,35E+02 / 58,17%
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	9,89E-02 / 97,65%	1,17E-05 / 0,01%	2,37E-03 / 2,34%
Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	4,78E-04 / 68,37%	1,13E-06 / 0,16%	2,20E-04 / 31,46%

- *Normalización*

Al observar los diferentes órdenes de magnitud de los datos trae consigo una visión sesgada de los resultados de normalización, por ello se opta por aplicar una escala logarítmica invertida en el eje de abscisas.

Figura 19.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 20% residuos de fibra de algodón.



Los resultados obtenidos se proporcionarán en una tabla del mismo modo.

Tabla 28.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 20% residuos de fibra de algodón

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	1,55E-14	2,23E-14	1,46E-12
Acidification (kg SO₂ eq)	1,13E-11	3,76E-14	6,03E-12
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	3,93E-12	1,33E-14	2,22E-12
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	2,01E-12	2,13E-14	1,39E-12
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	4,55E-16	8,87E-16	2,41E-14
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	2,17E-10	1,64E-14	4,23E-12
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	4,80E-11	1,19E-13	4,80E-11
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,20E-10	5,54E-13	1,68E-10
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,08E-10	1,28E-14	2,59E-12
Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	2,62E-12	6,22E-15	1,21E-12

3.2.8 Poliuretano + 30% fibra de algodón

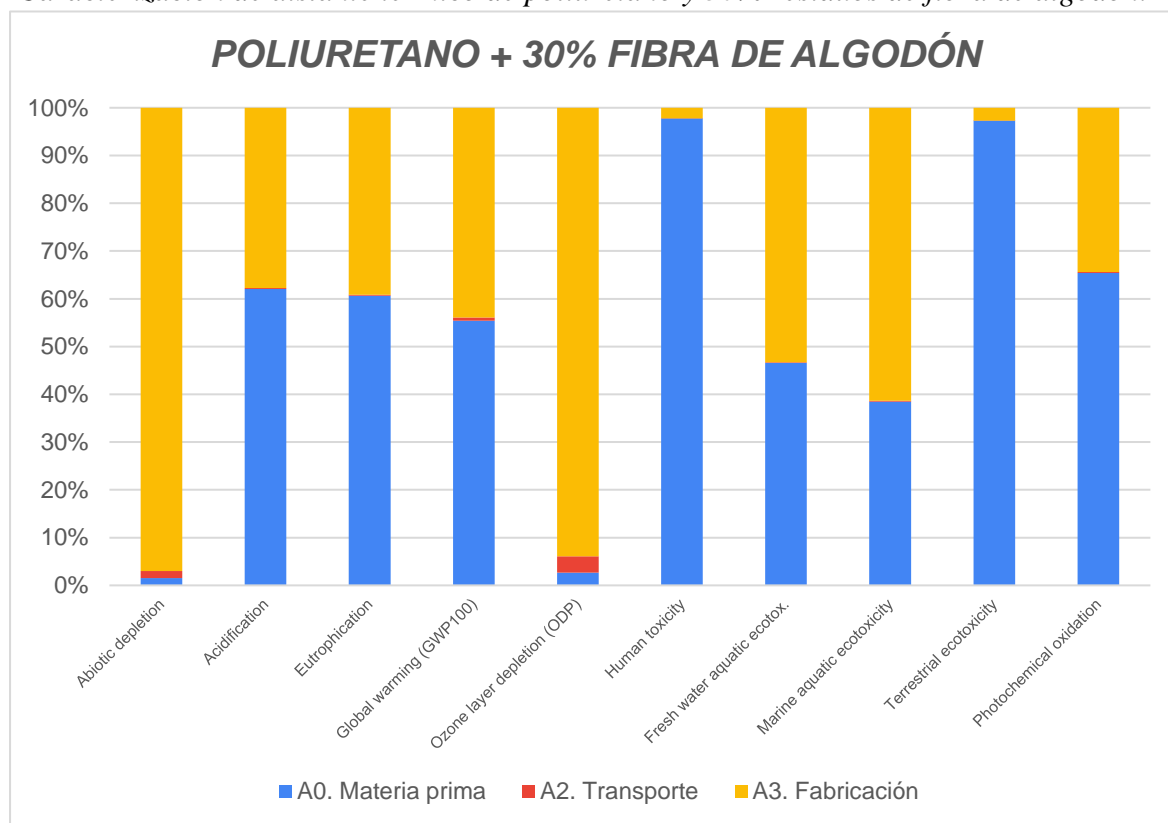
Ahora se exponen los resultados obtenidos para aislante térmico a base de poliuretano y con 30% de residuos de fibra de algodón.

- *Caracterización*

Los resultados que se muestran en la siguiente gráfica están ampliados al 100% para mostrar el impacto, en valores absolutos, para ello se sumaron las etapas para cada impacto para obtener un total, y cada etapa se divide en el total.

Figura 20.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 30% residuos de fibra de algodón.



Los valores originales obtenidos y el porcentaje que representan al ser ampliados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 29.

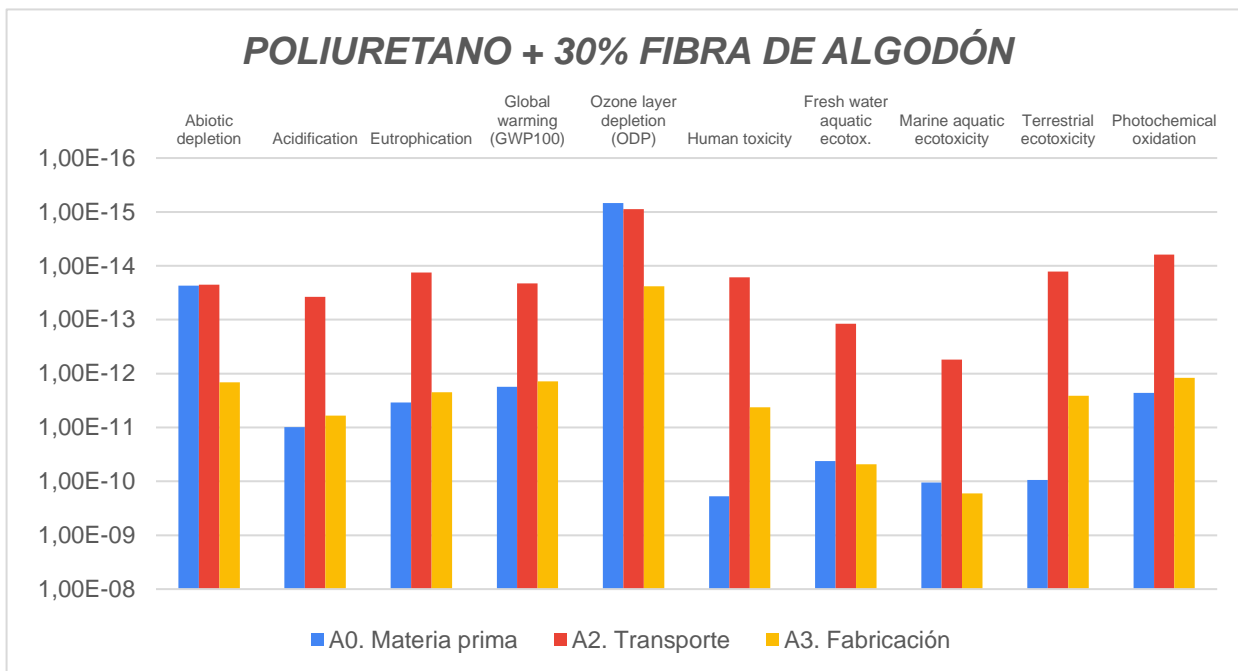
Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 30% residuos de fibra de algodón.

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	3,98E-05 / 1,54%	3,81E-05 / 1,48%	2,50E-03 / 96,98%
Acidification (kg SO₂ eq)	6,65E-03 / 62,04%	2,52E-05 / 0,24%	4,04E-03 / 37,73%
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	1,73E-03 / 60,63%	6,69E-06 / 0,23%	1,12E-03 / 39,13%
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	4,44E-01 / 55,44%	5,37E-03 / 0,67%	3,52E-01 / 43,89%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	6,70E-10 / 2,66%	8,70E-10 / 3,45%	2,37E-08 / 93,89%
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	3,55E+01 / 97,80%	3,07E-03 / 0,01%	7,95E-01 / 2,19%
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	3,15E-01 / 46,60%	8,93E-04 / 0,13%	3,61E-01 / 53,27%
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	3,35E+02 / 38,43%	1,76E+00 / 0,20%	5,35E+02 / 61,37%
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	8,62E-02 / 97,31%	1,17E-05 / 0,01%	2,37E-03 / 2,68%
Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	4,18E-04 / 65,43%	1,13E-06 / 0,18%	2,20E-04 / 34,40%

- *Normalización*

Al observar los diferentes órdenes de magnitud de los datos trae consigo una visión sesgada de los resultados de normalización, por ello se opta por aplicar una escala logarítmica invertida en el eje de abscisas.

Figura 21. *Normalización de aislante térmico de poliuretano y 30% residuos de fibra de algodón.*



Los resultados obtenidos se proporcionarán en una tabla del mismo modo.

Tabla 30.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 30% residuos de fibra de algodón

Tablero de fibra textil	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	2,33E-14	2,23E-14	1,46E-12
Acidification (kg SO ₂ eq)	9,91E-12	3,76E-14	6,03E-12
Eutrophication (kg PO ₄₃ eq)	3,44E-12	1,33E-14	2,22E-12
Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	1,76E-12	2,13E-14	1,39E-12
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	6,83E-16	8,87E-16	2,41E-14
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	1,89E-10	1,64E-14	4,23E-12
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	4,20E-11	1,19E-13	4,80E-11
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,05E-10	5,54E-13	1,68E-10
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	9,39E-11	1,28E-14	2,59E-12
Photochemical oxidation (kg C ₂ H ₄ eq)	2,30E-12	6,22E-15	1,21E-12

3.2.9 Comparativa: aislantes con residuos de fibra de celulosa

Al realizar estos ACV podemos evidenciar si al incorporar residuos hay una mejora en los impactos estudiados para la fabricación de aislantes térmicos y acústicos. Para evaluar si hay una mejora, podemos ver el siguiente gráfico, el cual nos muestra el aislante tradicional a base de 100% fibra de celulosa: algodón y los tres aislantes de poliuretano con residuos de algodón. Al realizar esta comparativa se tomaron los datos totales de caracterización de cada una de las categorías de los aislantes tradicionales y se dividieron entre el que tuviera mayor impacto de acuerdo con la categoría, en la siguiente tabla se muestra el valor total y el porcentaje.

Tabla 31.

Comparativa de aislantes a base de fibra de celulosa.

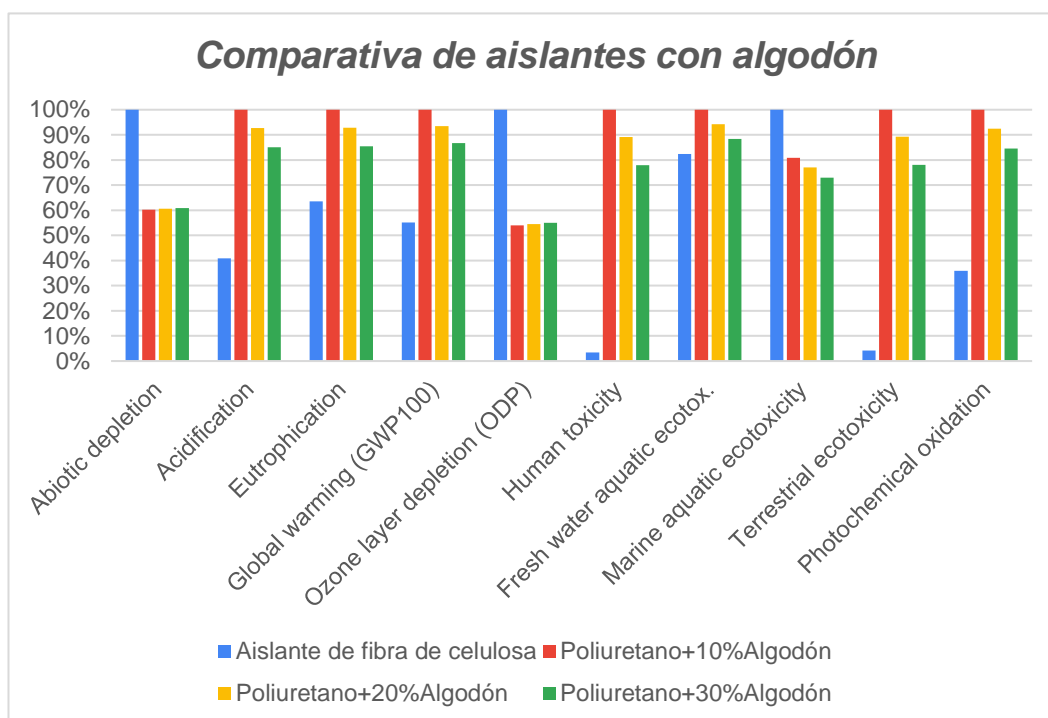
Categorías de impacto	Fibra de celulosa	PU 10%Algodon	PU 20%Algodon	PU 30%Algodon
Abiotic depletion (kg Sb eq)	4,23E-03 / 29%	2,55E-03 / 60,24%	2,56E-03 / 61%	2,58E-03 / 61%
Acidification (kg SO₂ eq)	5,16E-03 / 49%	1,26E-02 / 100%	1,17E-02 / 93%	1,07E-02 / 85%
Eutrophication (kg PO₄₃ eq)	2,12E-03 / 67%	3,34E-03 / 100%	3,10E-03 / 93%	2,85E-03 / 85%
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	5,10E-01 / 27%	9,25E-01 / 100%	8,64E-01 / 93%	8,02E-01 / 87%
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	4,59E-08 / 39%	2,48E-08 / 53,98%	2,50E-08 / 54%	2,52E-08 / 55%
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	1,61E+00 / 100%	4,66E+01 / 100%	4,15E+01 / 89%	3,63E+01 / 78%
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	6,31E-01 / 100%	7,66E-01 / 100%	7,23E-01 / 94%	6,77E-01 / 88%
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,19E+03 / 85%	9,66E+02 / 80,88%	9,20E+02 / 77%	8,72E+02 / 73%
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	4,74E-03 / 58%	1,14E-01 / 100%	1,01E-01 / 89%	8,86E-02 / 78%

Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	2,71E-04 / 38%	7,56E-04 / 100%	6,99E-04 / 92%	6,40E-04 / 85%
---	-------------------	--------------------	----------------	----------------

Estos datos podemos representarlos en la siguiente gráfica.

Figura 22.

Comparativa de aislantes a base de algodón metodología CML.



3.2.10 Análisis orientado al impacto de los aislantes con residuos de algodón

Primero realizaremos una evaluación general de la adición de fibra de algodón en porcentajes de 10%, 20% y 30%. Las materias primas en los porcentajes de adición disminuyen un 46,91%, 44,09% y 40,82% respectivamente por lo que las tres muestran tendrían una influencia relevante y el grado de influencia sería B, con un control escaso y algunas posibles mejoras. La etapa de transporte no sufrió grandes modificaciones aumentó entre un 3%-5%, sin embargo, sus contribuciones siguen siendo menores al 2,5%, lo que corresponde a una

influencia despreciable y un grado de influencia C. La etapa de fabricación si obtuvo grandes cambios aumentó en un 8,07%, 10,88% y 14,14% respectivamente en comparación al aislante 100% de algodón, con este aumento la influencia se vuelve significativa y si grado de influencia se mantiene en A.

La tabla 30 y la gráfica 21 muestra los resultados de los impactos causados por la utilización de residuos de algodón, podemos evidenciar que, en las categorías de agotamiento abiótico, agotamiento de la capa de ozono (ODP) y Ecotoxicidad acuática marina presentan una reducción de impacto aproximadamente de 39%, 47% y 27% respectivamente. Sin embargo, para los aislantes con residuos en las categorías de agotamiento abiótico y ODP representan un valor muy parecido entre los diferentes aislantes con residuos, sus valores son 61% y 55% para cada categoría. En el resto de las categorías se evidencia que no hay una mejora con respecto a utilizar 100% de algodón. Pero se observa que entre los aislantes con adición de residuos el que causa mayor impacto en casi todas las categorías es el aislante con 10% de residuos de algodón. De igual manera, al comparar los aislantes con adición, al incorporar 30% de residuo de algodón, es el aislante que causa menor impacto, en las categorías que se evidencia esta disminución son: Oxidación fotoquímica, Ecotoxicidad terrestre, Ecotoxicidad de agua dulce, GWP100, Toxicidad humana, Acidificación y Eutrofización.

3.2.11 Poliuretano + 60% fibra textil

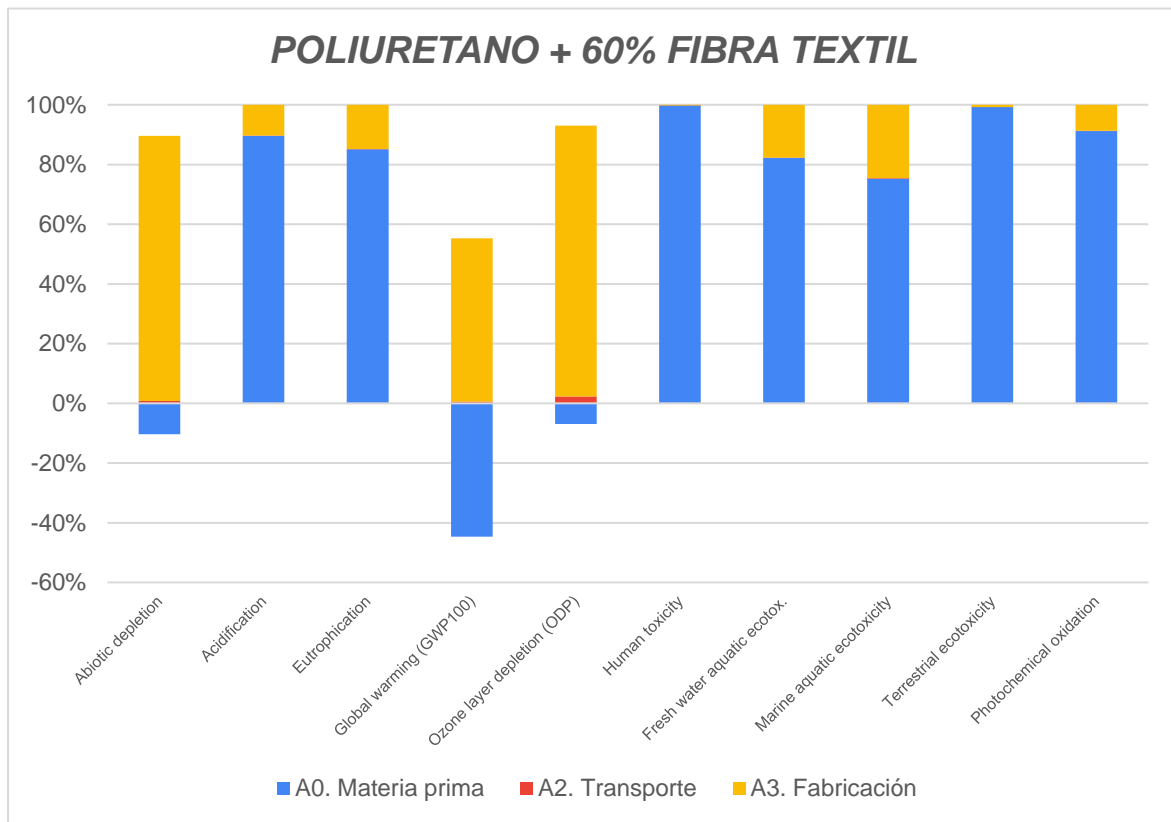
Ahora se exponen los resultados obtenidos para aislante térmico a base de poliuretano y con 60% de residuos de fibra textil (poliestireno).

- *Caracterización*

Los resultados que se muestran en la siguiente gráfica están ampliados al 100% para mostrar el impacto, en valores absolutos, para ello se sumaron las etapas para cada impacto para obtener un total, y cada etapa se divide en el total.

Figura 23.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 60% fibra textil.



Los valores originales obtenidos y el porcentaje que representan al ser ampliados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 32.

Caracterización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de fibra textil

Categorías de impacto	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	-5,05E-04 / -13,10%	3,81E-05 / 0,99%	4,32E-03 / 112,11%
Acidification (kg SO ₂ eq)	1,24E-02 / 89,55%	2,52E-05 / 0,18%	1,43E-03 / 10,27%
Eutrophication (kg PO ₄₃ eq)	3,23E-03 / 85,07%	6,69E-06 / 0,18%	5,60E-04 / 14,75%
Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	-4,33E-01 / -420,84%	5,37E-03 / 5,21%	5,31E-01 / 515,62%

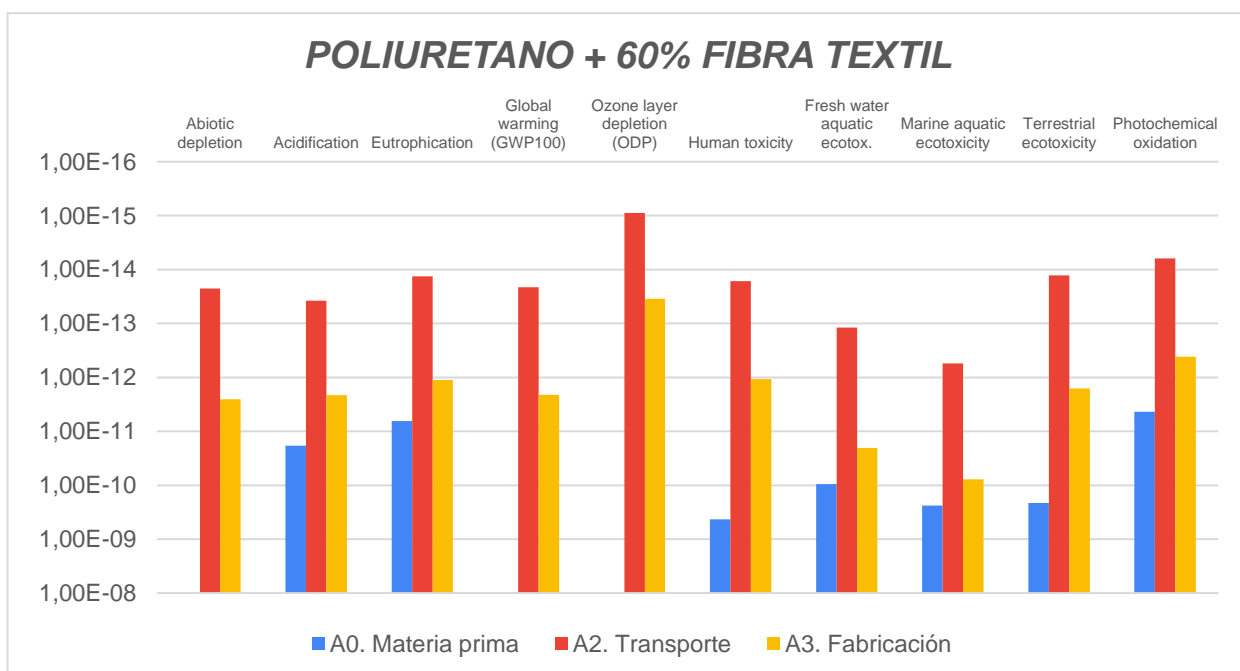
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	-2,60E-09 / -8,07%	8,70E-10 / 2,70%	3,39E-08 / 105,37%
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	8,07E+01 / 99,75%	3,07E-03 / 0,004%	2,01E-01 / 0,25%
Fresh water aquatic ecotox (kg 1,4-DB eq)	7,12E-01 / 82,20%	8,93E-04 / 0,10%	1,53E-01 / 17,70%
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	7,53E+02 / 75,26%	1,76E+00 / 0,18%	2,46E+02 / 24,56%
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,96E-01 / 99,25%	1,17E-05 / 0,01%	1,47E-03 / 0,74%
Photochemical oxidation (kg C₂H₄ eq)	7,92E-04 / 91,21%	1,13E-06 / 0,13%	7,52E-05 / 8,66%

- Normalización

Al observar los diferentes órdenes de magnitud de los datos trae consigo una visión sesgada de los resultados de normalización, por ello se opta por aplicar una escala logarítmica invertida en el eje de abscisas.

Figura 24.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de fibra textil.



Los resultados obtenidos se proporcionarán en una tabla del mismo modo.

Tabla 33.

Normalización de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de fibra textil.

Tablero de fibra textil	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Abiotic depletion (kg Sb eq)	-2,95E-13	2,23E-14	2,53E-12
Acidification (kg SO ₂ eq)	1,85E-11	3,76E-14	2,12E-12
Eutrophication (kg PO ₄₃ eq)	6,42E-12	1,33E-14	1,11E-12
Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	-1,72E-12	2,13E-14	2,10E-12
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	-2,65E-15	8,87E-16	3,46E-14
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	4,29E-10	1,64E-14	1,07E-12
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	9,47E-11	1,19E-13	2,04E-11
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	2,37E-10	5,54E-13	7,72E-11
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	2,13E-10	1,28E-14	1,60E-12
Photochemical oxidation (kg C ₂ H ₄ eq)	4,35E-12	6,22E-15	4,13E-13

3.2.12 Comparativa: aislantes con residuos de fibra textil

Al realizar estos ACV podemos evidenciar si al incorporar residuos hay una mejora en los impactos estudiados para la fabricación de aislantes térmicos y acústicos. Para evaluar si hay una mejora, podemos ver el siguiente gráfico, el cual nos muestra el aislante tradicional a base de 100% fibra textil y el aislante de poliuretano con residuos de nylon/spandex. Al realizar esta comparativa se tomaron los datos totales de caracterización de cada de una de las categorías de los aislantes tradicionales y se dividieron entre el que tuviera mayor impacto de acuerdo con la categoría, en la siguiente tabla se muestra el valor total y el porcentaje.

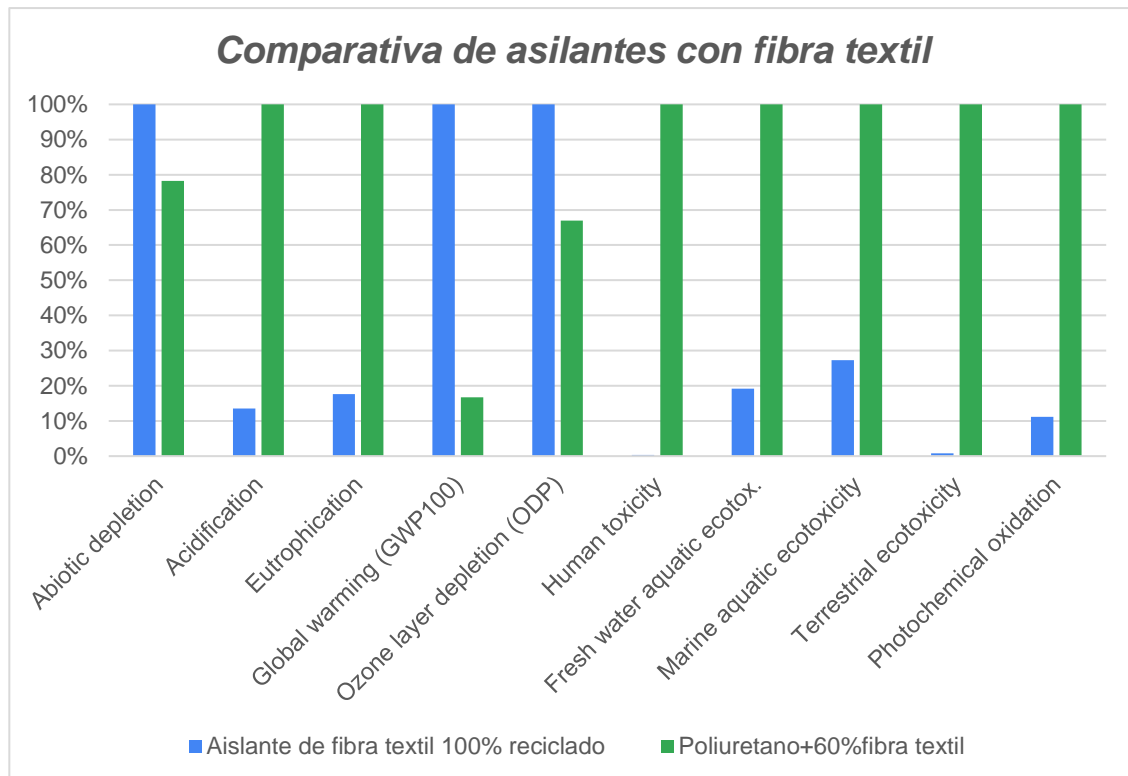
Tabla 34.

Comparativa de aislantes a base de fibra textil.

Categorías de impacto	Fibra textil	PU 60%Nylon/Spandex
Abiotic depletion (kg Sb eq)	4,93E-03	3,85E-03
Acidification (kg SO ₂ eq)	1,88E-03	1,39E-02
Eutrophication (kg PO ₄₃ eq)	6,67E-04	3,79E-03
Global warming (GWP100) (kg CO ₂ eq)	6,15E-01	1,03E-01
Ozone layer depletion (ODP) (kg CFC-11 eq)	4,81E-08	3,22E-08
Human toxicity (kg 1,4-DB eq)	2,49E-01	8,09E+01
Fresh water aquatic ecotox. (kg 1,4-DB eq)	1,67E-01	8,66E-01
Marine aquatic ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	2,73E+02	1,00E+03
Terrestrial ecotoxicity (kg 1,4-DB eq)	1,66E-03	1,97E-01
Photochemical oxidation (kg C ₂ H ₄ eq)	9,69E-05	8,68E-04

Figura 25.

Comparativa de aislantes a base de fibra textil metodología CML.



3.2.13 Análisis orientado al impacto de los aislantes con residuos de algodón

Primero realizaremos una evaluación general de la adición de fibra textil de nylon en un porcentaje de 60%. La materia prima en la adición de residuo aumenta su contribución de manera significativa con un porcentaje del 77,05%, el grado de influencia sería B, con un control escaso y algunas posibles mejoras. La etapa de transporte no sufrió grandes modificaciones, pero podemos destacar que la contribución disminuyó más de la mitad, su contribución sigue siendo menor al 2,5%, lo que corresponde a una influencia despreciable y un grado de influencia C. La etapa de fabricación también tiene un gran cambio disminuye de tal manera que su contribución es del 22,78%, lo que supone alguna influencia, el grado de influencia se mantiene en A,

La tabla 33 y la gráfica 24 muestran los resultados de los impactos causados por la utilización de residuos de fibra textil (nylon), podemos ver que, en las categorías de agotamiento abiótico, GWP100 y agotamiento de la capa de ozono (ODP) presentan una reducción de impacto de 21,75%, 83,25% Y 33,07% respectivamente. En la gráfica 22 podemos observar cómo al utilizar los residuos como materia prima se retribuye energía al sistema en las categorías de agotamiento abiótico, GWP 100 y ODP. Sin embargo, la categoría que más afecta en el proceso de fabricación es GWP 100. Esto se debe a los gases de efecto invernadero, como se utiliza fibras de desechos, el porcentaje de contenido de dióxido de carbono de la fabricación de estos se traslada a el producto, y el proceso de fabricación del aislante a partir de residuos no implican tantos procesos que afecten al calentamiento global y a la capa de ozono.

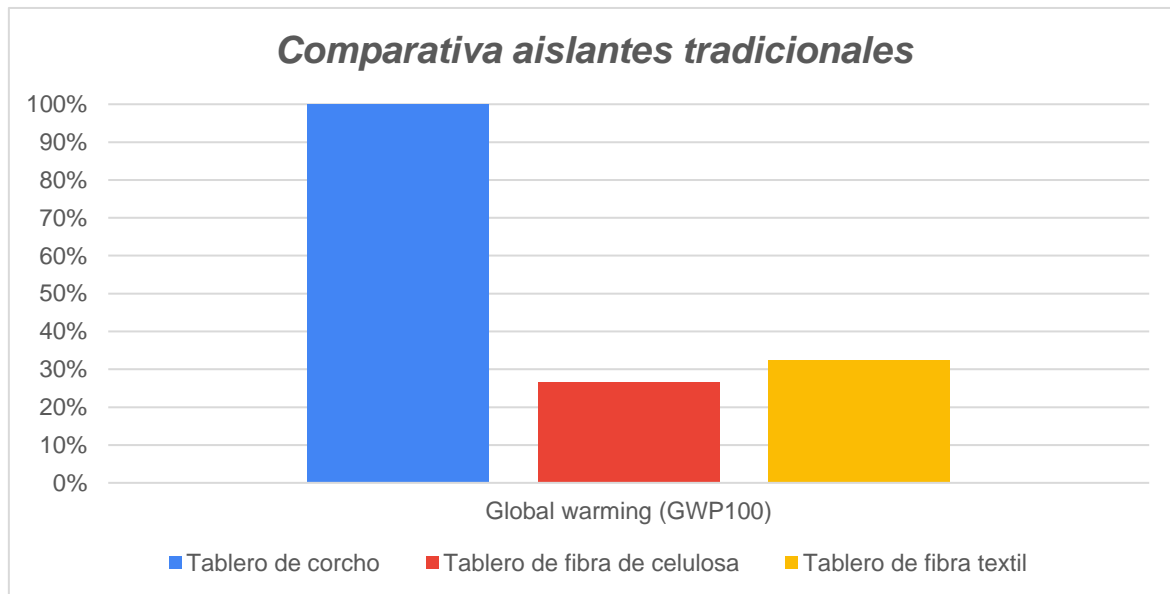
3.3 Aislantes tradicionales IPCC

A continuación, mostraremos los resultados que se obtuvieron al calcular el potencial de alerta global de los aislantes tradicionales, siguiendo la metodología IPCC, desde el punto de

vista de su caracterización. Los resultados que se muestran en la gráfica son la comparativa entre los tres aislantes tradicionales para evidenciar el menor impacto estudiado. Al realizar esta comparativa se tomaron los datos totales de caracterización de la categoría estudiada y se dividieron entre el que tuviera mayor impacto de acuerdo con la categoría.

Figura 26.

Comparativa aislantes tradicionales metodología IPCC.



En la siguiente tabla se muestra el valor de la caracterización, valor total y el porcentaje.

Tabla 35.

Caracterización y comparativa aislante térmico de corcho.

Caracterización	Total	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	1,93481	0,06052	0,00537	1,86891
	100%	3,31%	0,28%	96,59%

Tabla 36.

Caracterización y comparativa aislante térmico de fibra de celulosa.

Caracterización		Total	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Global	warming	0,51513	0,15439	0,00538	0,35537
(GWP100)					
(kg CO ₂ eq)					
		26,62%	29,97%	1,04%	68,99%

Tabla 37.

Caracterización y comparativa aislante térmico de fibra textil.

Caracterización		Total	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Global	warming	0,62651	0,07851	0,00538	0,54263
(GWP100)					
(kg CO ₂ eq)					
		32,38%	12,53%	0,86%	86,61%

3.3.1 *Análisis orientado al impacto de los aislantes tradicionales*

De acuerdo con las tablas 34, 35 y 36, la mayor emisión de CO₂ se encuentra en la etapa de fabricación como se esperaba. Esto se debe a que es la etapa en donde se utilizan maquinarias a elevadas temperaturas. Por otra parte, podemos ver como la etapa de transporte también emite cantidades de CO₂ las cuales son necesarias para el transporte de material primas, residuos y aditivos. Por lo que estas emisiones son invariables en este parámetro. En último lugar esta la materia prima y a ello, se le adjunta las emisiones previas para obtener el producto, por ejemplo, en el corcho y el algodón serán las emisiones de la recolecta a través de máquinas y para la fibra textil su proceso de producción previamente. En la gráfica 25, se observa que el aislante térmico que causa mayor cantidad de emisiones de CO₂ es a base de corcho con más del 50% de las emisiones con respecto a los otros aislantes.

3.4 Aislantes con residuos IPCC

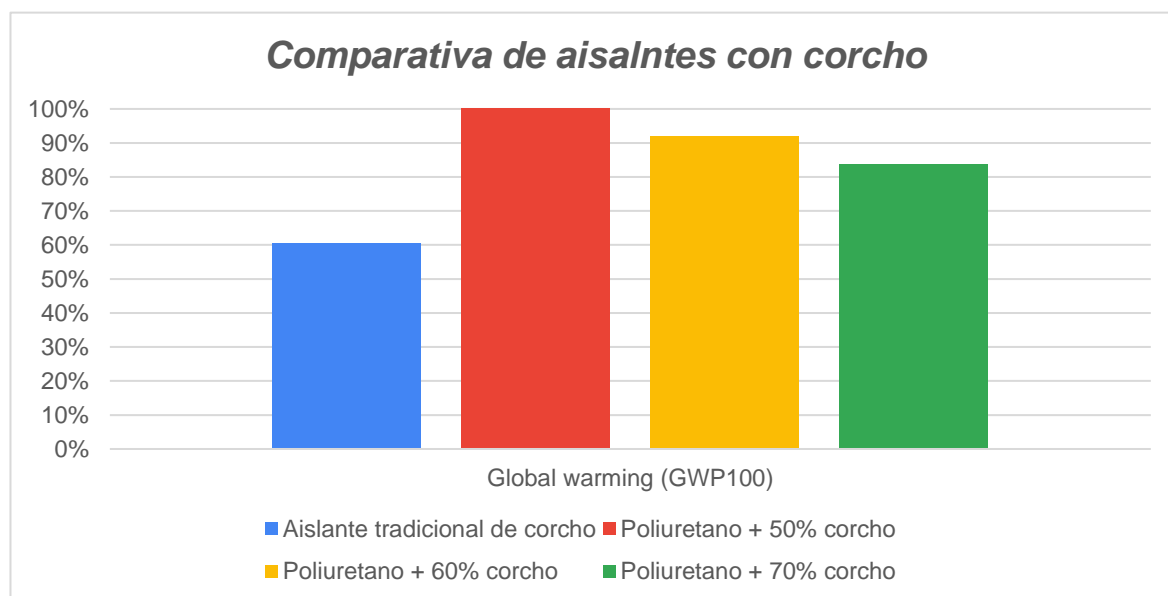
A continuación, mostraremos los resultados que se obtuvieron al calcular el potencial de alerta global de los aislantes con residuos, siguiendo la metodología IPCC, desde el punto de vista de su caracterización.

3.4.1 Corcho

Los resultados que se muestran en la gráfica son la comparativa entre los tres aislantes con residuos de corcho para evidenciar el menor impacto estudiado. Al realizar esta comparativa se tomaron los datos totales de caracterización de la categoría estudiada y se dividieron entre el que tuviera mayor impacto de acuerdo con la categoría.

Figura 27.

Comparativa de aislantes a base de corcho por metodología IPCC.



En la siguiente tabla se muestra el valor de la caracterización, valor total y el porcentaje.

Tabla 38.

Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 50% residuos de corcho

Caracterización		Total	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Global	warming	3,19791	1,32362	0,00538	1,86891
(GWP100)					
(kg CO ₂ eq)					
		100,00%	41,39%	0,17%	58,44%

Tabla 39.

Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de corcho

Caracterización		Total	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Global	warming	2,93871	1,06442	0,00538	1,86891
(GWP100)					
(kg CO ₂ eq)					
		91,89%	36,22%	0,18%	63,60%

Tabla 40.

Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 70% residuos de corcho

Caracterización		Total	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Global	warming	2,67950	0,80521	0,00538	1,86891
(GWP100)					
(kg CO ₂ eq)					
		83,79%	30,05%	0,20%	69,75%

3.4.2 Análisis orientado al impacto de los aislantes tradicionales

De acuerdo con las tablas 37, 38 y 39, la mayor emisión de CO₂ se encuentra en la etapa de fabricación como se esperaba. La etapa de transporte también emite cantidades de CO₂ las cuales son necesarias para el transporte de material primas, residuos y aditivos. Por lo que estas emisiones son invariables en este parámetro. En último lugar está la materia prima en donde

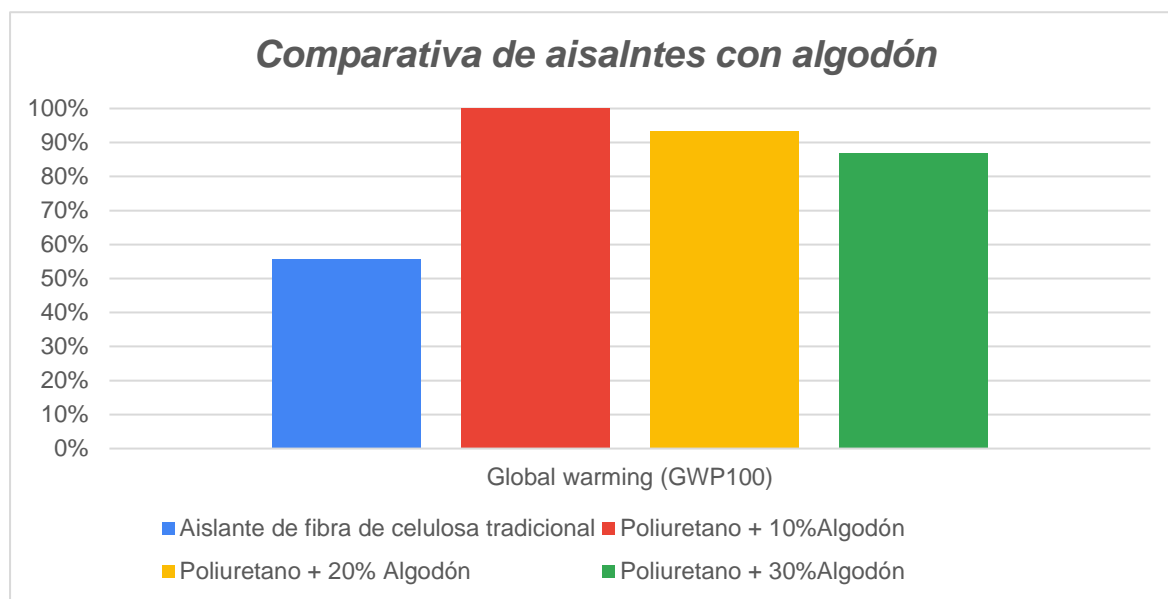
podemos ver que el aislante térmico que emite mayor cantidad de emisiones es aquel que tiene 50% de residuos de corcho, esto lo podemos asociar al bajo uso de residuos y el de mayor cantidad del otro material, el poliuretano. En la gráfica 26, se comparan el aislante tradicional de corcho y los aislantes con residuos y se observa que el aislante que causa menores emisiones de calentamiento global es el aislante tradicional de corcho.

3.4.3 Fibra de algodón

Los resultados que se muestran en la gráfica son la comparativa entre los tres aislantes con residuos de algodón para evidenciar el menor impacto estudiado. Al realizar esta comparativa se tomaron los datos totales de caracterización de la categoría estudiada y se dividieron entre el que tuviera mayor impacto de acuerdo con la categoría.

Figura 28.

Comparativa de aislantes a base de corcho por metodología IPCC.



En la siguiente tabla se muestra el valor de la caracterización, valor total y el porcentaje.

Tabla 41.

Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 10% residuos de algodón.

Caracterización	Total	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
-----------------	-------	-------------------	----------------	-----------------

Global warming	0,92377	0,56302	0,00538	0,35537
(GWP100)				
(kg CO₂ eq)				
	100,00%	60,95%	0,58%	38,47%

Tabla 42 *Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 20% residuos de algodón.*

Caracterización	Total	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Global warming	0,86401	0,50326	0,00538	0,35537
(GWP100)				
(kg CO₂ eq)				
	94%	58,25%	0,62%	41,13%

Tabla 43.

Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 30% residuos de algodón.

Caracterización	Total	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Global warming	0,80178	0,44104	0,00538	0,35537
(GWP100)				
(kg CO₂ eq)				
	87%	55,01%	0,67%	44,32%

3.4.4 *Análisis orientado al impacto de los aislantes a base de fibra de algodón*

De acuerdo con las tablas 40, 41 y 42, la mayor emisión de CO₂ se encuentra en la etapa de materia prima, la cual se asocia a las emisiones previas del residuo de algodón de acuerdo con la fabricación de la fibra por procesos que necesitan temperaturas elevadas. La etapa de transporte también emite cantidades de CO₂ las cuales son necesarias para el transporte de

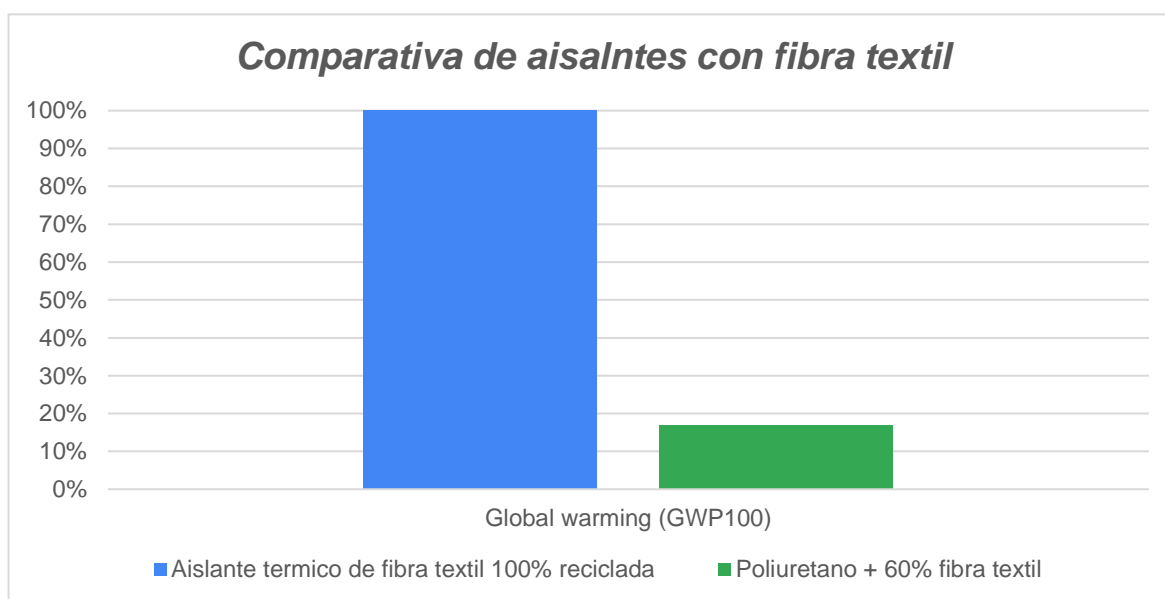
material primas, residuos y aditivos. Por lo que estas emisiones son invariables en este parámetro. En la gráfica 27, se comparan el aislante tradicional de fibra de algodón y los aislantes con residuos de algodón y se observa que el aislante que causa menor emisiones de calentamiento global es el aislante 100% de fibra de algodón y entre los aislantes con residuos el de menor emisiones es el aislante de poliuretano con 30% de residuos, al contrario del corcho, que a mayor cantidad de residuos disminuye su porcentaje de afectación.

3.4.5 Fibra textil

Los resultados que se muestran en la gráfica son la comparativa entre el aislante con residuos de fibra textil y fibra textil 100% reciclada para evidenciar el menor impacto estudiado. Al realizar esta comparativa se tomaron los datos totales de caracterización de la categoría estudiada y se dividieron entre el que tuviera mayor impacto de acuerdo con la categoría.

Figura 29.

Comparativa de aislantes a base de corcho por metodología IPCC.



En la siguiente tabla se muestra el valor de la caracterización, valor total y el porcentaje.

Tabla 44. *Caracterización y comparativa de aislante térmico de poliuretano y 60% residuos de fibra textil.*

Caracterización	Total	A0. Materia prima	A2. Transporte	A3. Fabricación
Global warming (GWP100) (kg CO₂ eq)	0,10614	-0,44187	0,00538	0,54263
	16,94%	-416,33%	5,07%	511,26%

3.4.6 *Análisis orientado al impacto de los aislantes a base de fibra de textil*

De acuerdo con las tablas 36 y 43, la mayor emisión de CO₂ se encuentra en la etapa de fabricación como se esperaba, sin embargo, es un porcentaje muy elevado, que se contrarresta en las “emisiones” en la materia prima, la cuales no hay y antes se retribuye los valores de energía causados por este residuo, dándole un valor útil y ayudando al concepto de economía circular. La etapa de transporte también emite cantidades de CO₂ las cuales son necesarias para el transporte de material primas, residuos y aditivos. Por lo que estas emisiones son invariables en este parámetro. En la gráfica 28, se comparan el aislante tradicional de fibra textil de poliéster 100% y los aislantes con residuos de nylon y se observa que el aislante que causa menor emisión de calentamiento global es el aislante con residuos, al contrario que en los aislantes a partir de residuos.

4 Conclusiones

El Análisis de Ciclo de Vida es una excelente herramienta para evaluar impactos ambientales y permitió cumplir con el objetivo planteado, analizar el impacto ambiental que implicaría la fabricación de aislantes térmicos y acústicos para mejorar el comportamiento ambiental en el sector de la construcción.

Para ello se hizo una actualización bibliográfica de los diferentes estudios realizados previamente para la fabricación de aislantes utilizando residuos industriales. En esta búsqueda se tenía en cuenta que los materiales tuvieran buenas propiedades mecánicas, además que su capacidad de aislamiento térmico y acústico fuera óptima. De igual modo, que fueran residuos que ayudaran a solucionar problemas como acumulación en vertederos o incineración de estos, se buscaba incentivar la metodología de economía circular.

Los datos utilizados fueron obtenidos de artículos científicos y de bases de datos con prestigio, como lo es Ecoinvent. Estos datos fueron procesados en el programa SimaPro y se calculó el impacto ambiental siguiendo las metodologías CML 2000 y IPCC, de acuerdo con la norma ISO14040.

De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación se observa que al utilizar la metodología IPCC y CML, se obtuvieron datos muy parecidos con respecto a la categoría de calentamiento global, lo cual nos indica que cada metodología se desarrolló de manera correcta y podemos identificar los efectos ambientales que cada aislante causa. Los resultados indican que el impacto asociado a los aislantes sin aditivos en algunos casos es mayor que agregar residuos para su fabricación. Lo cual concuerda con la hipótesis previa a la operación y se cumple con la utilización de la economía circular, al disminuir los residuos generados por la industria y convertirlos nuevamente en materia prima.

Los valores finales de los aislantes sin aditivos resultaron ser diferentes en las etapas de materiales y fabricación, se resalta que el aislante de mayor impacto es el aislante a base de

corcho (tradicional). En la etapa de transporte todos los materiales son similares, ya que son variables fijas que dependen de las distancias de transporte de las materias primas.

En cuanto a los aislantes con aditivos, la mejor opción medioambientalmente hablando, de acuerdo con el tipo de residuo son los siguientes: poliuretano con 70% de residuos de corcho, poliuretano con 30% de residuos de fibra de algodón y poliuretano con 60% de residuos de fibra textil. Y se concluye que el aislante de menor impacto entre los anteriormente mencionados es el aislante a partir de poliuretano con residuos de fibra textil, teniendo en cuenta su valor total final. Sin embargo, se deben realizar mejoras en la primera etapa, ya que los factores que más afectan son la toxicidad humana y la ecotoxicidad terrestre.

El estudio cree en la sustitución de parte de los aislantes térmicos tradicionales en la industria por residuos industriales, que puedan representar un material innovador y respetuoso con el medio ambiente para la gestión de dichos residuos. Además de crear alternativas de aislantes para el sector de construcción y oportunidades para las empresas de ampliar la gama de productos ofrecidos y cumplir con los nuevos requisitos de una construcción sostenible y de calidad.

5 Posibles Líneas De Investigación Futuras

Al desarrollar este trabajo podemos seguir explorando y/o profundizando en estudios relacionados con el tema investigado. Entre las líneas futuras que podrían continuar con la investigación es seguir buscando residuos industriales para la fabricación de aislantes térmicos y acústicos, debido a que en las industrias encontramos todo tipo de residuo que pueden llegar a incorporarse y generar el aislante con las propiedades deseadas, además de generar beneficios ambientales y apostar por la economía circular.

De igual forma, en esta investigación solo se utilizaron ciertos porcentajes de residuos, se podría seguir estudiando la variación de ellos, junto con sus propiedades mecánicas y su actividad térmica y acústica. Otra línea de investigación es la posibilidad de cambiar el tipo de fibra de celulosa y la fibra textil que se utilice, puesto que en el presente trabajo se utilizó algodón y nylon respectivamente. Podría utilizarse otro material ya que hay gran variedad de fibras que podrían utilizarse para aislamiento térmico y acústico.

Para finalizar se puede añadir el estudio del coste económico de la fabricación de aislantes térmicos y acústicos a partir de los residuos estudiados o de otros residuos que ya se hayan estudiado de acuerdo con las bibliografías. Y así tener una visión más amplia de la utilización de residuos para la fabricación de aislantes térmicos.

Referencias Bibliográficas

- Berardi, U., & Iannace, G. (2015). Caracterización acústica de fibras naturales para aplicaciones de absorción acústica. *Edificación y Medio Ambiente*, p 840-852.
- Cardellini, G., & Mijndonckx, J. (2022). *Synergies, energy efficiency and circularity in the renovation wave*. S,d: Cover image © Osama Khan, on Unsplash.
- Chapagain, A., Hoekstra, A., Savenije, H., & Gautam, R. (2006). La huella hídrica del consumo de algodón: una evaluación del impacto del consumo mundial de productos de algodón en los recursos hídricos de los países productores de algodón. *Economía Ecológica*, p 186-203.
- Ciaburro, G., & Iannace, G. (2022). Metamaterial acústico tipo membrana a partir de láminas de corcho y masas adheridas a base de materiales reutilizados. *Acústica Aplicada*, p 108605.
- Comisión Europea. (17 de Febrero de 2020). *In focus: Energy efficiency in buildings*. Obtenido de In focus: Energy efficiency in buildings: https://ec.europa.eu/info/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-lut-17_es
- Comité Europeo de Normalización. (2006). *Gestión ambiental, Análisis del ciclo de vida, Requisitos y directrices*. España: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Corticeira, A. (15 de Septiembre de 2021). *Corticeira Amorimin informe anual 2021*. Obtenido de Corticeira Amorimin informe anual 2021: https://www.amorim.com/xms/files/Investidores/Assembleia_Geral/000544-2021-12-31.zip

- Cozzarini, L., Marsich, L., Ferluga, A., & Schmid, C. (2020). Análisis del ciclo de vida de un novedoso aislante térmico obtenido a partir de residuos de vidrio reciclado. *Desarrollos en el entorno construido*, p.100014.
- D'Amore, G., Caniato, M., Travan, A., Turco, G., & Marsich, L. (2017). Innovadora espuma de aislamiento térmico y acústico a partir de polvo de vidrio reciclado. *Revista de producción más limpia*, p 1306-1315.
- Dissanayake, D., Weerasinghe, D., Wijesinghe, K., & Kalpage, K. (2018). Desarrollo de un panel termoaislante moldeado por compresión a partir de residuos textiles postindustriales. *Gestión de residuos*, p 356-361.
- Edirisinghe, L., Wijayasundara, M., & Alwis, A. (2022). Waste Generation and Characteristics in Sri Lankan Textile and Apparel Sector: Case Study of the Biyagama Industrial Export Processing Zone, Sri Lanka. *Nature Environment and Pollution Technology*, p. 697-702.
- Fayos, H., & Bovea, M. (2013). *Máster en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Instalaciones Industriales y Edificación*. S,d: Universitat Jaume I.
- Fernández, J., Reinoso, M., & Fernández, X. (2021). Estimación de la huella de carbono en la industria papelera. *Instituto de Información Científica y Tecnológica*, vol. 23, núm. 4.
- Gabathuler, H. (2006). The CML Story: How Environmental Sciences Entered the Debate on LCA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* volume, p. 127–132 .
- Gallegos, G. (25 de Mayo de 2021). *Perspectivas del algodón en el mercado mundial 2021*. Obtenido de Perspectivas del algodón en el mercado mundial 2021: <https://www.economista.com.mx/opinion/Perspectivas-del-algodon-en-el-mercado-mundial-2021-20210525-0134.html>

- Gama, N., Godinho, B., Barros-Timmons, A., & Ferreira, A. (2021). PU/Lignocellulosic Composites Produced from Recycled Raw Materials. *Journal of Polymers and the Environment*, p pages194–205.
- Girod, B., Wiek, A., Mieg, H., & Hulme, M. (2009). La evolución de los escenarios de emisiones del IPCC. *Ciencia y política ambiental*, p 103-118.
- Ingrao, C., Giudice, A., Tricase, C., Rana, R., Mbohwa, C., & Siracusa, V. (2014). Paneles a base de fibra de PET reciclado para el aislamiento térmico de edificios: impacto ambiental y evaluación del potencial de mejora para una producción más verde. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, p 914-929.
- Islam, S., & Bhat, G. (2019). *Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles*. S,d: Elsevier.
- Kumar, D., Alam, M., XW Zou, bJay, P., Sanjayan, J., & Ahmed, R. (2020). Análisis comparativo de las propiedades y el rendimiento de los materiales de aislamiento de edificios. *Revisiones de energía renovable y sostenible*, p. 10038.
- Lihua, L., Yingjie, L., & Congtan, L. (2019). Properties of Waste Fiber/Polyurethane Flame Retardant Insulation Board. *ResearchGate Logo*, p 256.
- Lihua, L., Yingjie, L., Congtán, L., Jing, G., & Colmillo, Y. (2019). Propiedades de la fibra DE LA FIBRA DE RESIDUO/PLANCHA AISLANTE RETARDANTE DE LLAMA DE POLIURETANO. *Textiles y prendas de vestir*, p 152 - 161.
- Liobikienė, G., & Minelgaitė, A. (2021). Comportamientos de ahorro de energía y recursos en los países de la Unión Europea: el paradigma de Campbell y los enfoques de la teoría del marco de objetivos. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, p 141-745.
- Liu, X., Changjie, C., Jiusheng, S., & Wang, C. (2021). Desarrollo de mantillo no tejido degradable a base de fibra natural a partir de residuos reciclables de molinos. *Gestión de residuos*, p 432-440.

- Manohar , K. (2012). Investigación experimental del aislamiento térmico de edificios a partir de subproductos agrícolas. *Current Journal of Applied Science and Technology*, p 227-239.
- National Research Council, & Agriculture. (1997). *Wood in Our Future: The Role of Life-Cycle Analysis: Proceedings of a Symposium*. S,d: National Academies Press.
- Patnaik , A., Mvubu , M., Muniyasamy , S., & Botha , A. (2015). Materiales aislantes térmicos y acústicos a partir de residuos de lana y fibras de poliéster recicladas y sus estudios de biodegradación. *Energía y Edificación*, p 161-169.
- Saadman, S., Sumi , S., & Chinchu , C. (2022). Aplicaciones sostenibles de la fibra de desecho textil en las industrias geotécnica y de la construcción: una retrospectiva. *Ingeniería y tecnología más limpias*, p. 100420.
- Sadrolodabae, P., Claramunt, J., Ardanuy, M., & Fuente, A. (2021). Un compuesto de cemento reforzado con fibra de desecho textil: comparación entre fibra aleatoria corta y refuerzo textil. *Materials*, p. 14 -13.
- Sakib , S., Sumi , C., & Chinchu, C. (2022). Aplicaciones sostenibles de la fibra de desecho textil en las industrias geotécnica y de la construcción: una retrospectiva. *Ingeniería y tecnología más limpias*, p 100420.
- Sandin , G., & Peters , G. (2018). Impacto ambiental de la reutilización y el reciclaje de textiles: una revisión. *Revista de producción más limpia*, p 353-365.
- Savio, L., Bosia, D., Patrucco, A., Pennacchio, R., Piccablotto, G., & Thiebat, F. (2017). *Applications of Building Insulation Products Based on Natural Wool and Hemp Fibers*. S,d: SpringerOpen.
- Shankar , S., & Parveen, R. (2021). Efecto del aislamiento a base de fibra de celulosa en el rendimiento térmico de los edificios. *Materialstoday proceedings*, p 5778-5781.

- Silvestre , J., Pargana , N., Brito , J., Pinheiro, M., & Durão , V. (2016). *Insulation Cork Boards—Environmental Life Cycle Assessment of an Organic Construction Material*. Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- Skea, J., Shukla,, P., Al Khourdajie, A., & McCollum, D. (2021). Intergovernmental Panel on Climate Change: Transparency and integrated assessment modeling. *Wires*, p 022820.
- Strandsbjerg , J., Vuuren , D., Gupta, J., Duarte, F., Edmonds, J., & Swart , R. (2022). Escenarios de emisiones del IPCC: ¿Cómo afectaron las críticas su calidad y relevancia 1990-2022? *Cambio Ambiental Global*, Volumen 75, p. 102538.
- Tangjuank, S. (2011). Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. *International Journal of Physical Sciences*, p. 4528-4532.
- Tumusiime, E., Bautista, J., & Musinguzi, W. (2020). Evaluación del rendimiento de la eficacia de la fibra de celulosa como material de aislamiento térmico para sistemas productivos de biogás. *Energy Rports*, volm 6 3390.
- Usman, M., Balsalobre-Lorente , D., Jahanger, A., & Ahmad , P. (2022). Preocupación por la contaminación durante el modo de globalización en países financieramente ricos en recursos: ¿importan el desarrollo financiero, los recursos naturales y el consumo de energía renovable? *Energía renovable*, p 90-102.
- VanderWilde, C., & Newell, J. (2021). Servicios ecosistémicos y evaluación del ciclo de vida: una revisión bibliométrica. *Recursos, Conservación y Reciclaje*, p. 105461.
- Zhou, C., Junzhe, D., & Jiang, W. (2022). Clasificación de residuos de algodón de diferentes países mediante la técnica del infrarrojo cercano. *Sage Journals*, p.1-5.