



Universidad de  
Oviedo



# **ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN.**

## **MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

### **ÁREA DE CONSTRUCCIÓN E INGENIERÍA DE FABRICACIÓN**

#### **STUDY OF ENVIRONMENTAL IMPACT: INSULATION MATERIALS IN GOTHENBURG**

**D. MARTÍNEZ SÁNCHEZ, JAVIER**  
**TUTOR: D. SJOUCHE BEEMSTERBOER**  
**Dña. MARÍA JESÚS LAMELA REY**  
**FECHA: OCTUBRE 2018**

## **RESUMEN**

En este trabajo fin de máster se realizó un estudio sobre materiales aislantes en edificios residenciales multifamiliares, considerando sus principales propiedades, tanto técnicas como ambientales. Se usó como referencia un modelo de pared aislado térmicamente con cuatro materiales diferentes. Con las diferentes configuraciones de pared diseñadas, se compararon los impactos ambientales de los materiales de aislamiento requeridos para cumplir con las condiciones de aislamiento térmico establecidas en las regulaciones. Para esto, se utilizó el análisis del ciclo de vida como una herramienta para evaluar los impactos ambientales, y los métodos EDIP y ELU para calcular el desempeño ambiental global. Los resultados mostraron que el material con el mejor comportamiento en términos de impacto ambiental es el aislamiento a base de fibra de celulosa, mientras que las planchas de aerogel todavía no se pueden considerarse recomendables como aislamiento térmico principal según los resultados, a pesar de sus mejores condiciones técnicas, mostrando los peores resultados en casi todas las categorías de impacto analizadas. El desempeño de los materiales más utilizados en la construcción en Europa en la actualidad (lana de roca y fibra de vidrio) se encuentra enmarcado entre los otros materiales, siendo menor en ambos casos en relación con el aerogel y mayor que el impacto asociado con el uso de soluciones basadas en la fibra de celulosa. La fibra de vidrio muestra un desempeño ambiental peor que el de la lana de roca debido a su impacto mucho mayor en términos de agotamiento de los recursos abióticos. En esta categoría la fibra de vidrio es el material que obtiene el peor resultado.

## METODOLOGÍA

Dado que el objetivo del TFM es el estudio de impacto ambiental de los materiales de aislamiento térmico, se estructuró en estas diferentes fases:

1. Investigación y estudio sobre los materiales de aislamiento térmico para obtener diferentes alternativas a los materiales de aislamiento térmico utilizados tradicionalmente por la industria de la construcción.
2. Obtención de las huellas de carbono y otros indicadores ambientales de una configuración de muro que define los parámetros requeridos para usar LCA.
3. Comparativa entre los resultados obtenidos para los diferentes materiales aislantes alternativos y los alcanzados utilizando materiales aislantes clásicos, comparando su desempeño, tratando de encontrar las diferencias ambientales entre ellos.

Idealmente, en este caso, dada la gran variedad de materiales de aislamiento que existen en el mercado y los que potencialmente estarán, es interesante realizar una comparación de la mayor cantidad posible de ellos para tener una cantidad de datos que permitan obtener una respuesta completa. Sin embargo, al adaptar la comparación al período temporal de un trabajo fin de máster, los materiales estudiados deben ser limitados. La elección de los materiales se llevó a cabo teniendo en cuenta la información, tanto cualitativa como cuantitativa, que se encuentra en los estudios y libros que se detallan en la bibliografía. Es difícil seleccionar solo unos pocos materiales para realizar el análisis, por lo que se realizó un estudio sobre la situación actual en el mercado de materiales de aislamiento para edificios residenciales, considerando también los posibles materiales que pueden ser una alternativa viable a los que se utilizan actualmente. El análisis de los materiales de referencia se enmarcó en tres grandes grupos de materiales de aislamiento. Estos tres grupos son:

- **Materiales estándar:** Este grupo incluye los materiales que la industria de la construcción ha utilizado en los últimos años de manera generalizada. En este grupo se pueden destacar las fibras minerales (fibra de vidrio y lana de roca) y también las espumas plásticas (poliestireno expandido (EPS), poliestireno extruido (XPS) y espuma de poliuretano (PU)), que no se estudiarán debido a ser productos a base de aceite. En esta categoría, los materiales elegidos por tanto son los materiales a base de fibras minerales, analizándose tanto la lana de roca como la fibra de vidrio.
- **Nuevos materiales:** En este campo, están incluidos los materiales de nueva creación, es decir, los que aún no se han utilizado de manera genérica en el campo de la construcción, en muchos casos porque la escala de producción es aún pequeña. Ejemplos de esta categoría son los VIP (paneles de aislamiento de vacío) y el aerogel. El aerogel fue el material elegido en esta categoría.

- **Materiales reciclados:** Esta categoría incluye aquellos materiales aislantes formados a partir de productos reciclados. El material incluido en el análisis fueron las fibras de celulosa.

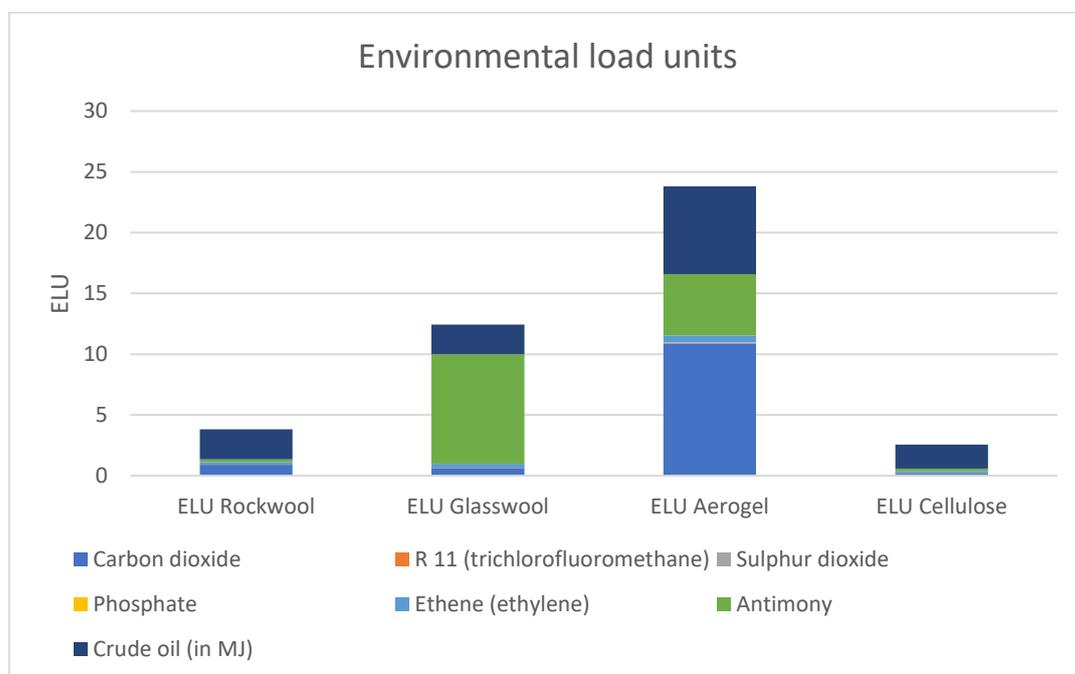
Para hacer la comparación de los materiales, fue necesario establecer algunos parámetros comunes que permitieran una confrontación directa entre ellos. Por esta razón, se definió y asoció una configuración de pared a todos los materiales analizados buscando obtener unas mismas características térmicas, de modo que se fijó un coeficiente de transmisión de calor para todas las estructuras de pared analizadas. Con los materiales elegidos, se realizó un análisis comparativo de su desempeño, combinado con los otros materiales que componen la pared, obteniendo el espesor de cada uno necesario para cumplir con las especificaciones establecidas por las autoridades en Suecia para la envolvente térmica de los edificios residenciales en Gotemburgo.

Una vez definidas todas las alternativas y teniendo las condiciones preliminares detalladas, el siguiente paso fue buscar información sobre los impactos ambientales asociados con cada uno de los materiales que forman el muro, así como establecer la metodología y las características de LCA (Baumann & Tillman, 2004). La información relacionada con los impactos ambientales de los materiales se obtuvo en las declaraciones ambientales proporcionadas por empresas e instituciones especializadas. Sin embargo, la información encontrada a veces no estaba completa para todas las fases del ciclo de vida analizadas en el proyecto, por lo que se obtuvieron datos complementarios utilizando para ello el software Simapro y la base de datos (Ecoinvent, 2013). Además, la información encontrada en las declaraciones ambientales estaba en muchas ocasiones referida a diferentes unidades funcionales, por lo que fue necesario llevar a cabo un proceso de estandarización para comparar las diferentes alternativas. La información y los procesos utilizados se detallan en el capítulo dedicado al análisis de LCA.

Para el análisis de resultados, se compararon las alternativas consideradas. Se analizó el impacto de cada una de las configuraciones de muro teniendo en cuenta los diferentes impactos ambientales. Después de haber medido todos los impactos, se compararon los materiales tratando de encontrar similitudes y diferencias entre ellos para, en última instancia, comparar el impacto global de cada uno de los materiales utilizados siguiendo el método EPS (Steen, 2015). La consistencia de los datos se probó comparando datos de diferentes productos y declaraciones ambientales llevadas a cabo en Europa.

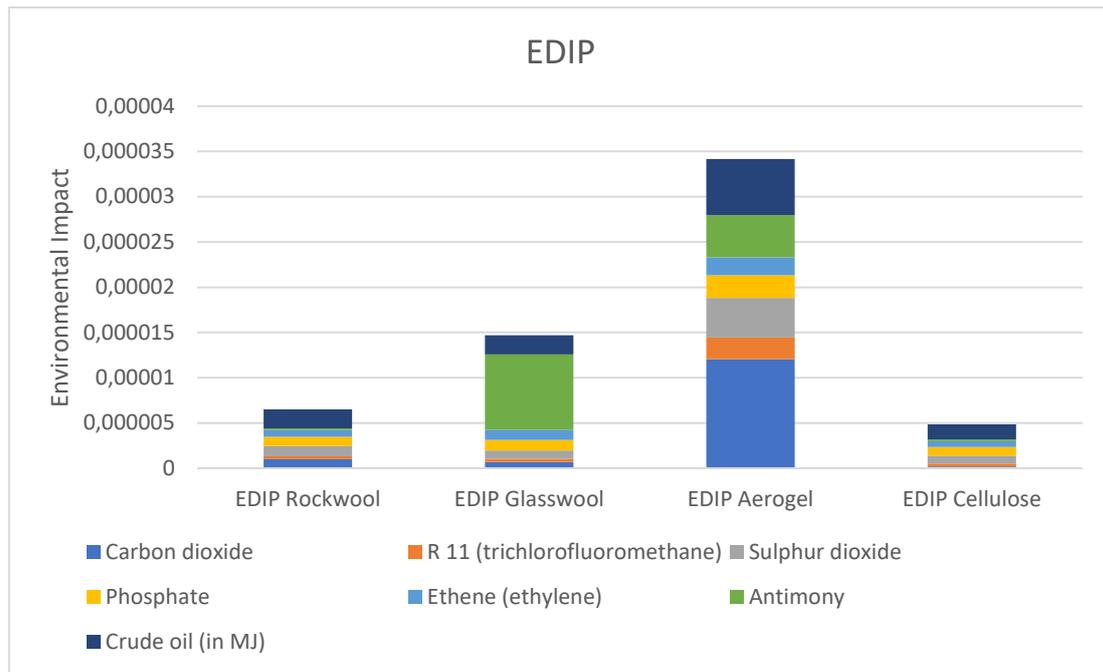
## RESULTADOS

El EPS 2015 fue el método elegido (Steen, 2015) para comparar el impacto de los materiales aislantes analizados. Los resultados del método de evaluación de impacto de EPS son los costes de daños por emisiones y uso de recursos naturales expresados como ELU (Unidades de Carga Ambiental). Una ELU representa un coste de daño ambiental de equivalente a una unidad monetaria (un euro). Las categorías de impacto se identifican a través de cinco áreas de protección: salud humana, la capacidad de producir ecosistemas, recursos, biodiversidad y valores culturales y recreativos. El enfoque predeterminado se expresa en términos de filosofía ambiental y los principios de "causalidad" y "precaución". Los impactos ambientales analizados fueron los utilizados para la comparación del muro, cruzando los datos del estudio con los factores de caracterización de ELU utilizando Excel. Los datos usados para la parametrización fueron los desarrollados por el Swedish Life Cycle Center en la última versión, la EPS 2015 (Steen, 2015).

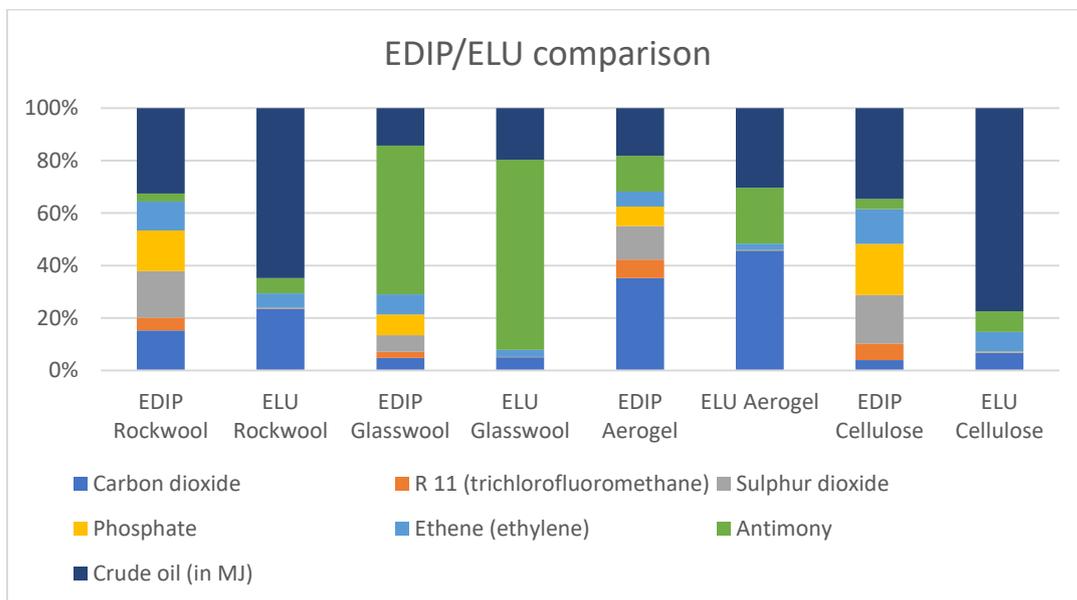


Se puede observar cómo la carga ambiental asociada con la configuración con aerogel es mucho mayor que la de los otros tipos de pared. La opción que ofrece un mejor desempeño ambiental según estas categorías se basa en una solución de celulosa. Las opciones basadas en lana de roca obtuvieron un mejor rendimiento que la lana de vidrio, debido al gran impacto asociado con el agotamiento de los recursos abióticos que tiene la fibra de vidrio.

Para comparar los resultados, el estudio se contrastó con el método EDIP. El Desarrollo Ambiental de Productos Industriales es un método desarrollado por el Instituto para el Desarrollo de Productos (IPU) en la Universidad Técnica de Dinamarca en Lyngby (Hauschild, et al., 2006). Los datos del estudio con los factores de caracterización EDIP se trataron con Excel. Los factores de caracterización se extrajeron de (Potting & Hauschild, 2004) y (Baumann & Tillman, 2004).



Los resultados obtenidos y mostrados refuerzan la idea de que el aerogel es el material con mayor impacto ambiental, y la fibra de celulosa es la más interesante desde el punto de vista ambiental. El análisis también muestra el gran impacto del indicador de agotamiento abiótico asociado con el proceso de producción de lana de vidrio.



Comparando los dos métodos, el EDIP muestra una menor importancia relativa del impacto debido a las emisiones de efecto invernadero en el caso de aerogel, o lo que es lo mismo, un mayor porcentaje de impacto asociado a los otros impactos ambientales que cuando se usaron las ELU. Esta circunstancia reafirma la importancia de medir diferentes impactos cuando se busca el elemento más sostenible. El método EDIP distribuye más los impactos entre las diferentes categorías, perdiendo la importancia relativa del agotamiento de los recursos

abióticos debido al uso de combustibles fósiles en comparación con los resultados obtenidos utilizando ELUs.

## CONCLUSIONES

Después del análisis de los diferentes materiales elegidos para el estudio, los resultados basados en los métodos EPS y EDIP muestran que el uso de una solución de aislamiento compuesta por fibras de celulosa puede llevar a obtener un mejor desempeño ambiental. En términos de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes también es mejor que los materiales de aislamiento convencionales analizados y el aerogel. El uso de esta solución sigue siendo residual, en gran parte debido a que el método de toma de decisiones al elegir los materiales por parte de la industria sigue optando principalmente por la alternativa con el menor coste económico del material. Esto da una ventaja competitiva casi insuperable a los materiales de aislamiento convencionales debido a la economía de escala. Los métodos de selección de materiales de las empresas de construcción deben modificarse para aumentar el peso específico de los criterios ambientales, dando más importancia al análisis de ciclo de vida durante el proceso de decisión, y no solo midiendo los aspectos económicos.

En el caso del aerogel, aunque sus propiedades ambientales son peores que los otros materiales de aislamiento analizados, el resultado total de su uso como aislante continúa proporcionando un balance positivo de emisiones en términos de CO<sub>2</sub> equivalente si se analiza toda su vida útil. Esta comparación no es tan justa para el aerogel teniendo en cuenta que su uso actual no es el de aislamiento principal en edificios residenciales, por lo que los resultados obtenidos están muy influenciados por este hecho. Para su estudio se utilizó una configuración de material orientada a su uso como aislante secundario o retrofitting, por lo que los resultados no se pueden extrapolar directamente a su uso como aislante principal. Debido a su reducido grosor, puede ser una alternativa en edificios existentes donde la instalación de otros tipos de aislamiento en soluciones de remodelación no es posible debido a la falta de espacio, o en el caso de fachadas de interés histórico protegido, donde el uso de otros materiales conllevaría una alteración significativa de las mismas, así como en nuevas construcciones donde el espesor es un elemento clave. También es interesante como barrera térmica para las paredes orientadas al sur, ya que permite la entrada de la radiación solar al edificio, lo que reduce la necesidad de calefacción.

Las emisiones asociadas con la fase de producción de todos los productos son, en general, significativamente mayores en comparación con las otras etapas del ciclo de vida analizado. En el caso del aerogel, se puede observar cómo más de tres cuartas partes de las emisiones asociadas con la fase de producción y el 85% del impacto global asociado al producto está vinculado a la emisión de gases de efecto invernadero. Esto muestra que, en el futuro, este debería ser el proceso que debe mejorarse si se quiere alcanzar un producto competitivo en este campo. Si es posible mejorar el rendimiento ambiental de la producción, el aerogel puede convertirse en un material interesante debido a sus excelentes propiedades térmicas e ignífugas.

Los procesos de transporte representan en todos los productos y etapas un pequeño impacto considerando toda la vida útil, lo que coincide con el resultado obtenido en el análisis. Esto reafirma que al elegir un proveedor suele ser más interesante desde un punto de vista ambiental valorar el desempeño de este durante la fase de producción que optar por aquel más cercano geográficamente.

Las soluciones basadas en lana mineral, con resultados intermedios, sirven como referencia al comparar los dos materiales alternativos elegidos. Los resultados obtenidos se encuentran entre las dos opciones analizadas, presentando un mejor rendimiento la lana de roca. El desempeño ambiental de la fibra de vidrio está claramente influenciado por el hecho de que es la peor opción en términos de agotamiento de los recursos abióticos. Esto también muestra la importancia de incluir varios indicadores en una comparación de desempeño ambiental (o en cualquier otro campo) al extraer conclusiones sobre el desempeño de un material o producto en términos de indicadores globales.

## LÍMITES DEL ESTUDIO

Uno de los mayores problemas durante el desarrollo del trabajo fin de máster fue establecer los límites. Dado que es un tema amplio, se establecieron algunos límites para obtener un problema que podría responderse en el horizonte temporal de un trabajo de fin de máster. Debido a esto, se puede realizar una investigación avanzada teniendo en cuenta más información o incluyendo diferentes consideraciones. Por ejemplo, que incluya los materiales aislantes de espuma plástica, utilizados ampliamente por la industria, aunque sin llegar al nivel de uso de los aislantes minerales en Europa. Otros materiales de aislamiento modernos fueron obviados en el estudio al seleccionar el aerogel. Los paneles de aislamiento de vacío, por ejemplo, pueden incluirse también en el estudio.

El tipo de muro seleccionado sigue un diseño tradicional para los países nórdicos, pero no es un tipo de muro habitual en otras partes del mundo. Dado que la intención del trabajo fin de máster es proporcionar una solución adecuada para una aplicación a gran escala, incluir otro tipo de estructuras de muro puede ser una buena opción para alcanzar resultados extrapolables a otras zonas climáticas de la tierra.

Los materiales aislantes se utilizan en muchas aplicaciones dentro de edificios residenciales. Solo se consideraron las barreras térmicas del muro que protegen la envolvente del edificio. El aislamiento de las instalaciones o particiones internas no formó parte de este trabajo fin de máster. Además, otra parte de la superficie externa, el tejado, no se incluyó en el estudio. Elementos tales como puertas o ventanas tampoco fueron incluidos al valorar la envolvente térmica. Todos estos elementos deben considerarse en los próximos estudios si se busca una visión global del aislamiento en edificios residenciales.

El estudio se centra en algunos impactos ambientales buscando correlaciones y compensaciones entre ellos. En busca de un análisis más profundo, se deben agregar al estudio más indicadores o categorías de impacto ambiental. Además, se seleccionaron las evaluaciones de impacto EPS y EDIP para llevar a cabo la comparación entre los diferentes materiales e impactos. Otros métodos pueden verificar si los resultados obtenidos al usarlos son confiables.

Después de realizar el análisis, un punto que llama la atención es el impacto que el aerogel tiene comparado con los otros materiales analizados. Esta disparidad tan alta hace necesario verificar que el análisis tiene sentido. Para ello, se debe estudiar el procedimiento de producción del aerogel, donde se ubican los principales impactos.

Cabe señalar que en el caso del aerogel, su variante basada en paneles fue la usada como material para el estudio. También deben estudiarse otras variantes del producto, como su uso potencial en sistemas de acristalamiento y renders integrados en aerogel, antes de juzgarlo como un material de aislamiento insostenible. El hecho de que se pueda usar como un aislante unidireccional entre láminas de vidrio en las paredes orientadas al sur puede proporcionar una ventaja

al analizar la fase de uso del material en el ciclo de vida en comparación con otros materiales aislantes bidireccionales. Se deben realizar más estudios que se centren también en la fase de uso antes de garantizar que el aerogel no sea competitivo en términos de impacto ambiental.