

EL AISLAMIENTO CON POLIURETANO EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

Pimentel Bolaños, Álvaro

IPUR, Asociación de la Industria del Poliuretano Rígido
ATEPA, Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado
Avda. Atenas 1-3 CC las Rozas 2 Local 163
28290 Las Rozas, MADRID
a.pimentel@atepa.org

RESUMEN

Prestaciones ambientales y coste son dos de los principales criterios de prescripción y selección de productos de construcción. Junto con el impacto social, representan los tres pilares del desarrollo sostenible.

Las administraciones, la industria y los usuarios finales coinciden en la necesidad de que la construcción se mueva hacia una concepción y diseño más sostenible. Pero hay diferentes criterios sobre cuál puede ser la mejor manera de evaluar esa sostenibilidad.

La mayoría de los expertos reconoce que la sostenibilidad de los productos de construcción solo se puede evaluar en el contexto del edificio o, como mucho, del elemento constructivo. Ese criterio se ve respaldado, entre otros, por el Comité Técnico de CEN a cargo del desarrollo de las normas europeas armonizadas para la evaluación de la sostenibilidad de los edificios (CEN/TC350).

Otros prefieren evaluar la sostenibilidad del producto o de material, para obtener después edificios sostenibles simplemente ensamblando los llamados productos “verdes”. Es la perspectiva utilizada en el desarrollo de la mayoría de los criterios verdes o eco-etiquetas de productos de construcción. Pero se puede demostrar que ese enfoque, en la práctica, no conduce necesariamente a la mejor solución.

PU EUROPE (Federación Europea de Asociaciones de Poliuretano) encargó a BRE, (Building Research Establishment) la cuantificación de los costes ambientales y económicos del uso de poliuretano y otros aislamientos en el diseño de Edificios de Bajo Consumo (Low Energy Building), del que se derivan las siguientes conclusiones:

- En muchos edificios de bajo consumo, el poliuretano muestra el menor coste de ciclo de vida gracias a un mayor ahorro energético o, en el caso de igualar la resistencia térmica (R), gracias al empleo de menos material y el efecto que esto tiene en la construcción del edificio.
- La verdadera sostenibilidad de los materiales aislantes puede, y debe, evaluarse únicamente en el contexto del edificio.
- Las evaluaciones ambientales basadas en un único indicador desconectado del contexto del edificio, o que no tengan en cuenta todo el ciclo de vida del producto, no facilitan una información útil ni adecuada.
- En el impacto ambiental de un edificio, la parte debida al aislamiento térmico es casi despreciable.

Keywords: Construcción, Sostenible, Aislamiento, Poliuretano, ACV.

1.- ¿Qué es un ACV?

Un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una recopilación y evaluación de datos sobre impacto ambiental potencial de un producto a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas, hasta la fabricación, el uso y la eventual eliminación de los diferentes componentes. En ese contexto, un edificio o una solución constructiva se considera un “producto” [1].

Para este estudio, se han realizado ACVs para valorar el impacto ambiental asociado a los materiales y el consumo de energía de las diferentes soluciones constructivas incluidas en el proyecto. El objetivo de este trabajo es considerar el impacto comparativo de los materiales, tanto entre sí como sobre el consumo energético del edificio durante su uso.

El período de estudio del ACV es de 50 años. Los resultados se representan como datos normalizados para las categorías de impacto ambiental de:

- GWP Potencial de Calentamiento Global (kg CO₂ eq)
- ODP Potencial de Eliminación de Ozono (kg CFC11 eq)
- EP Potencial de Eutrofización (kg PO₄)
- AP Potencial de Acidificación (kg SO₂ eq)
- POCP Potencial de Creación de Ozono Fotoquímico (kg etano eq)

Estos indicadores fueron los propuestos en el CEN/TC350 [2] cuando se inició el estudio. Los datos se adaptaron al perfil anual típico de un ciudadano de Europa Occidental.

Para conseguir los mejores resultados medioambientales, deben seguirse los siguientes criterios:

- En primer lugar, aunque los ACVs son importantes, el principal objetivo del aislamiento es hacer que los edificios sean energéticamente más eficientes, por lo que los técnicos deberían buscar las soluciones constructivas que garanticen la conductividad térmica más baja de la envolvente del edificio, para así minimizar el uso de energía y maximizar el ahorro de CO₂ a lo largo de la vida útil del edificio.
- En segundo lugar, el edificio debería diseñarse, y sus componentes elegirse, con la vista puesta en mantener las prestaciones térmicas de esa envolvente a lo largo de la vida útil del edificio. Es imprescindible reducir el riesgo de fallos y elegir un material adecuado. Se debe poner especial atención a aspectos como la permeabilidad al vapor de agua, la sensibilidad a la humedad y a la condensación, el movimiento del aire y la posible degradación física.
- En tercer lugar, hay que evaluar el coste a lo largo de la vida útil del edificio, de manera que se tenga en cuenta cualquier coste oculto o adicional derivado de los requisitos de instalación del aislamiento.
- Únicamente tras haber tomado esas tres medidas clave, se podrán afinar más las posibles alternativas, evaluando las características ambientales de las diferentes soluciones constructivas en el ciclo de vida del edificio.

2.- ¿Por qué evaluar los productos de construcción en el contexto del edificio?

Un ACV sencillo puede tener en cuenta múltiples impactos ambientales para un producto. Pero, para hacer comparaciones válidas, los técnicos necesitan información sobre el comportamiento de una solución constructiva completa, como una fachada, una cubierta o un suelo. Una solución constructiva está compuesta de varios productos y el eco-perfil suma la contribución de los productos que la componen.

Seleccionando productos que tienen cada uno un impacto ambiental mínimo y juntándolos, no obtendremos necesariamente el resultado óptimo para el elemento constructivo en su conjunto. Por ejemplo, un producto aislante con un bajo impacto ambiental puede tener también un bajo nivel de prestaciones, necesitando un mayor espesor para conseguir los mismos valores de transmitancia térmica (U) que un producto con mejores prestaciones térmicas que tenga un mayor impacto ambiental. El mayor espesor del producto con menos prestaciones puede originar un efecto en cadena sobre el tamaño de la construcción y la cantidad necesaria de otros materiales, aumentando tanto el impacto ambiental como los costes de la construcción en su conjunto.

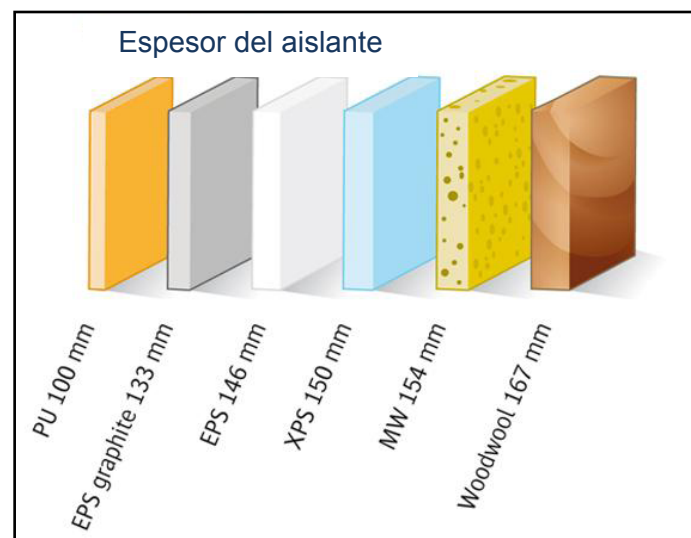


Fig. 1 “Espesor de los diferentes materiales aislantes para valores iguales de resistencia térmica (R)”

En algunas aplicaciones el peso del aislamiento puede variar entre 1:6 y 1:10 para el mismo valor de U de la solución constructiva. Por lo tanto es vital conocer y evaluar la solución constructiva o incluso del edificio completo, y tener toda la información pertinente permite a los prescriptores hacer comparaciones válidas entre los impactos ambientales de diferentes soluciones constructivas de manera realista.

3.- Objetivos del estudio y desarrollo del edificio modelo

3.1.- Objetivos del estudio

El objetivo global del estudio es cuantificar la contribución del aislamiento de poliuretano al impacto ambiental de edificios de bajo consumo y compararla con el de aislamientos alternativos. Se busca evidenciar que marcar criterios ambientales

sólo del producto o la comparación de los aislamientos sin conocer los requisitos exactos de diseño del edificio, no producen resultados significativos.

El elemento innovador del estudio consiste en que va más allá de la comparación de los impactos ambientales por unidad de peso o por valor de R. El estudio se interesa también por los efectos en cadena de la elección de los materiales sobre el propio edificio (necesidad de vigas adicionales, cimientos o cubiertas más grandes, requisitos adicionales de instalación, etc.). Por ese motivo los impactos de los materiales de construcción difieren según las diferentes soluciones de aislamiento estudiadas para cada solución constructiva del edificio.

3.2.- Edificio modelo

El BRE aportó el diseño del edificio modelo y de los componentes del edificio, determinó las soluciones de aislamiento y eligió los materiales de construcción partiendo de sus propias bases de datos. PU EUROPE únicamente fijó los valores de U para los elementos constructivos del edificio partiendo de los estándares de aislamiento de los edificios de bajo consumo.

El edificio modelo es una pequeña vivienda unifamiliar basada en el Informe BRE “Viviendas Estándar para Modelos Energéticos” (CR444/98) de Peter Iles. La superficie total del suelo de la casa, de dos plantas, es de 104 m². Se establecieron valores fijos para la calefacción, refrigeración, iluminación, etc. y se dejó como única variable el aislamiento de la envolvente del edificio.

Se estudiaron tres zonas climáticas: Mediterráneo Templado, Oceánico Templado y Continental Frío. Las soluciones constructivas del edificio modelo son habituales y representativas en todas las zonas climáticas del estudio.

3.3.- Cálculo de las emisiones debidas a la calefacción

La energía utilizada para calentar el edificio se calcula utilizando una versión del software BRESAP corregida para las diferentes zonas climáticas exteriores. La fuente de energía es gas natural.

Evidentemente hay una clara diferencia del consumo energético necesario para calentar el edificio entre las tres zonas climáticas. Por ejemplo, utilizando como base el consumo del edificio en la zona Oceánica Templada, el edificio en la zona Continental Fría es un 140% mayor.

El estudio consta de tres partes, de las que en este artículo se presentan las dos primeras:

- Parte 1: Impacto del aislamiento en un edificio de nueva construcción
- Parte 2: Impacto del aislamiento en rehabilitación cuando el espesor está limitado
- Parte 3: impacto del aislamiento en una cubierta deck plana de un edificio de nueva construcción

4.- Resultados de la parte 1 del estudio: Impacto del aislamiento en un edificio de nueva construcción – Influencia de la conductividad térmica

En el primer caso estudiado, se analiza todo el edificio nuevo – una casa unifamiliar de dos plantas y tres dormitorios. Los valores de U fijados para los diferentes cerramientos del edificio son los siguientes:

- Cubierta inclinada: $U = 0,13 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Fachada con cámara: $U = 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Suelo de planta baja: $U = 0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Ventanas: $U = 2,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Pérdidas de calor asociadas a los puentes térmicos: valor de $\gamma = 0,08 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

El objetivo es evaluar las prestaciones de cada solución constructiva utilizando diferentes aislamientos: poliuretano (PU), lana de roca (SW, Stone Wool) y lana de vidrio (GW, Glass Wool). Debido a sus diferentes valores de conductividad térmica, se han utilizado diferentes espesores para conseguir las mismas prestaciones térmicas. Para conseguir un valor de U de $0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ para la fachada con cámara, bastan 180 mm de poliuretano, mientras que las soluciones con lana de vidrio y lana de roca necesitan un espesor de 270 mm. Las soluciones para cubiertas inclinadas utilizan 190 mm de poliuretano, 300 mm de lana de vidrio y 310 mm de lana de roca.

Aislante	Poliuretano		Lana de roca		Lana de vidrio	
	Fachada con cámara	Cubierta inclinada	Fachada con cámara	Cubierta inclinada	Fachada con cámara	Cubierta inclinada
Espesor mm	180	90* 100**	270	220* 90**	270	300*
Densidad kg/m^3	32	32	39	45* 145**	17	17
Peso Kg/m^2	5.76	5.76	10.53	22.95	4.59	4.59
Lambda $\text{W/m}\cdot\text{K}$	0.022	0.023	0.037	0.038	0.032	0.037
Valor de U $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$	0.15	0.13	0.15	0.13	0.15	0.13

*Entre vigas **Sobre las vigas

Tabla 1. Características de las tres soluciones constructivas.

Dado que la superficie interior habitable y el volumen se debían mantener constantes, el diseño del edificio se debía adaptar para encajar con los diferentes espesores de los componentes (fig. 2).

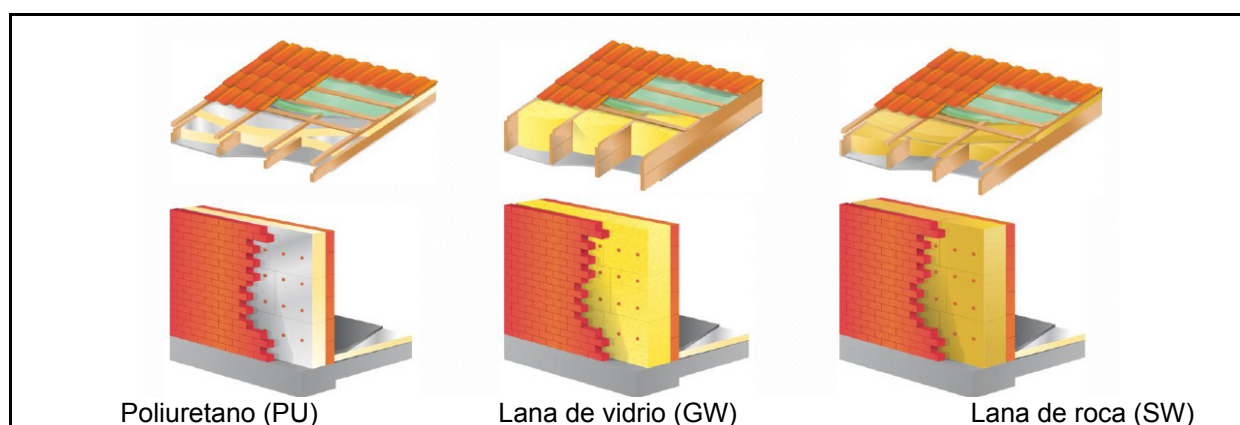


Fig. 2 “Soluciones constructivas para aislamiento de cubiertas inclinadas y fachadas con cámara mostrando la relación real de espesor de aislamiento”

4.1.- Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

La figura 3 muestra el impacto ambiental normalizado de los cinco indicadores seleccionados (GWP, AP, POCP, EP y ODP) para las soluciones poliuretano (PU), lana de vidrio (GW) y lana de roca (SW).

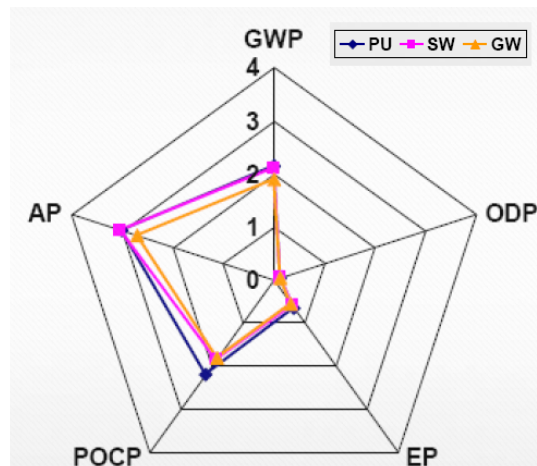


Fig. 3 “Edificio completo: Impactos ambientales normalizados por categorías, clima oceánico templado”

Los datos normalizados permiten comparar de forma relativa cada categoría de impacto ambiental. Los resultados excluyen la contribución al impacto ambiental de la energía consumida durante la fase de uso del edificio, al ser la misma en las tres soluciones constructivas.

El gráfico de telaraña muestra claramente que, en el contexto del edificio, no hay diferencias significativas en las prestaciones. Los resultados son parecidos en las tres zonas climáticas.

Hay que tener en cuenta que, en los tres casos, el suelo está aislado con poliuretano con un valor constante de U de $0,18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Un capítulo aparte contempla el poliestireno expandido (EPS) como alternativa al poliuretano en el suelo y llega a la misma conclusión: No hay diferencia significativa en las prestaciones ambientales de ambos materiales.

El estudio permite también comparar los impactos ambientales de los materiales de construcción y los aislamientos con el uso energético del edificio en las tres zonas climáticas (fig. 4).

La figura 4 muestra que los materiales de construcción y los aislamientos de la vivienda modelo representan aproximadamente sólo un tercio del GWP total, los otros dos tercios son debidos al gasto energético del edificio. De alguna manera eso contradice la creencia de que, en edificios de bajo consumo, los impactos ambientales de los materiales de construcción superan los de la fase de uso.

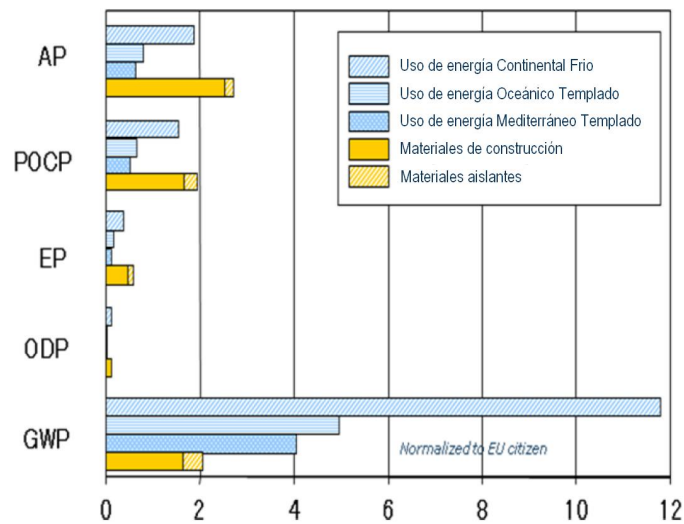


Fig. 4 “Datos normalizados – Uso de la energía, materiales de construcción y aislamientos, el impacto de los materiales de construcción y aislamientos es una media de las tres soluciones constructivas”.

En cambio el AP, POCP y EP total de los materiales de construcción y los aislamientos sí es superior al causado por el gasto de energía en la fase de uso del edificio.

Otra conclusión importante es que la parte debida a los materiales aislantes en el impacto ambiental total de un edificio es muy pequeña.

Si se analizan los costes económicos de ejecución de las tres soluciones constructivas, las soluciones con lana de vidrio y lana de roca tienen un coste ligeramente mayor en fachadas, y notablemente mayor (hasta un 20%) en cubiertas que la solución constructiva con poliuretano. Esta diferencia de coste se debe a la mayor cantidad de aislamiento necesario para mantener los valores de U requeridos, y por los efectos que este mayor espesor tiene sobre el resto de los elementos constructivos.

Si mantenemos fija la superficie habitable interior, un mayor espesor de cerramientos de fachada aumenta la superficie total a construir, por lo que aumenta la superficie a cimentar y la superficie a cubrir con la cubierta. Y un aumento del espesor del aislamiento en cubierta obliga a utilizar una estructura más robusta y correas de mayor altura.

Si mantenemos fija la superficie construida, el mayor espesor de fachadas provoca menor superficie útil, lo que reduce la habitabilidad y encarece el m² construido, si bien este segundo supuesto no se ha considerado en el estudio.

4.2.- Conclusiones de la Parte 1

El Análisis de Ciclo de Vida muestra que, en el contexto del edificio, todas las soluciones de aislamiento muestran unas prestaciones ambientales muy similares. Se puede derivar también que la contribución del material aislante a la carga global ambiental del edificio es muy pequeña. Incluso en los edificios de bajo consumo, la energía consumida en la fase de uso del edificio constituye una contribución muy superior al calentamiento global de la que aportan los materiales de construcción y

los aislamientos. Por otro lado, el AP, EP y POCP de los materiales superan los originados por el gasto energético del edificio.

El análisis económico muestra que la solución constructiva con poliuretano tiene un menor coste de ejecución, si bien este resultado no puede generalizarse a todos los tipos de soluciones constructivas ni a todos los tipos de edificios.

5.- Resultados de la parte 2 del estudio: Impacto del aislamiento en rehabilitación – Influencia de la limitación de espesor

Para la Parte 2, se considera un caso típico de rehabilitación. Se ha considerado que la fachada existente se aísla añadiendo aislamiento por la cara interior del muro exterior (trasdosado interior) de forma que los propietarios o usuarios del inmueble no pierdan espacio interior. Por tanto, el espesor de la capa aislante a instalar se limita a 50 mm en todos los casos. La superficie de fachada a aislar en el edificio modelo es 134 m².

La limitación del espesor origina diferentes valores de U para las diferentes soluciones constructivas, según el material aislante empleado. A su vez eso ocasiona diferentes niveles de consumo de energía en la fase de uso del edificio, siendo la solución con poliuretano la que ofrece mayores ahorros de energía.

Lógicamente la eficiencia global del edificio modelo de la Parte 2 es inferior a la del edificio nuevo contemplado en la Parte 1. Se han considerado los siguientes valores de U:

- Cubierta inclinada: $U = 0,40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Suelo de planta baja: $U = 0,67 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Ventanas: $U = 2,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Pérdidas de calor asociadas a los puentes térmicos: valor de $\gamma = 0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Aislante	PU	EPS	SW	GW
Espesor mm	50	50	50	50
Densidad kg/m ³	32	30	39	24
Lambda W/m·K	0.023	0.034	0.037	0.036
Valor de U W/m ² ·K	0.36	0.47	0.54	0.54
Superficie pared m ²	134	134	134	134
PU: Poliuretano EPS: Poliestireno expandido SW: Lana de Roca GW: Lana de vidrio				

Tabla 2. Comparativa entre las prestaciones de las diferentes soluciones de rehabilitación energética

El BRE propuso dos sistemas diferentes de instalación del aislamiento, representativos de la práctica habitual de instalación de los diferentes materiales. El poliuretano y poliestireno se fijan con pasta de agarre, y la lana de vidrio y lana de roca con una estructura de madera (fig. 5).



Fig. 5. “Técnicas de instalación utilizadas para poliuretano y poliestireno (izquierda) y lana de vidrio y lana de roca (derecha)”

5.1.- Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

El ACV no solo contempla los impactos ambientales de los materiales de construcción y los aislamientos, sino también los causados por el consumo de energía durante la fase de utilización del edificio. En este caso es necesario porque al tratarse de soluciones constructivas con diferentes valores de U, el edificio modelo tiene diferentes niveles de consumo de energía.

Para las tres zonas climáticas, el análisis vuelve a mostrar un impacto ambiental global similar para todas las soluciones constructivas contempladas (fig. 6).

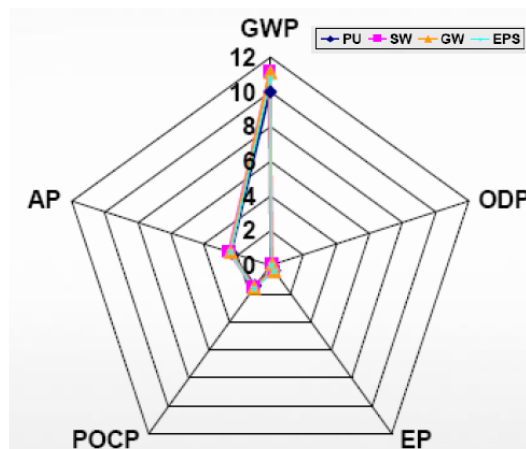


Fig. 6. “Trasdosado interior: Impactos ambientales normalizados por categorías, clima oceánico templado”

El estudio también valora la contribución del uso de la energía, de los materiales de revestimiento interior y del aislante por separado, midiéndolos por cada indicador ambiental y expresando los resultados de forma relativa, es decir, como un porcentaje del valor máximo en cada categoría (fig. 7).

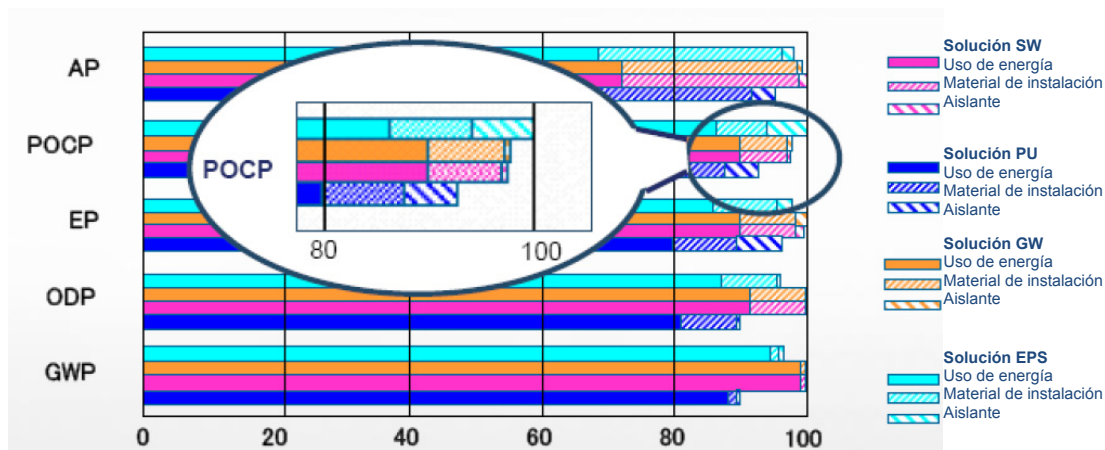


Fig. 7. “Resultados del ACV expresados como relativos al valor máximo de cada categoría de impacto – Análisis de la contribución de la energía y los materiales, clima oceánico templado”

A la vista de los datos, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- A partir de los resultados globales, las diferencias entre soluciones constructivas en cualquiera de las categorías de impacto son irrelevantes. La variación más importante se puede ver en la contribución al calentamiento global, que es alrededor del 9% más baja para la solución con poliuretano comparada con la más desfavorable. Pero desde el punto de vista del ACV, esa variación no es significativa.
- Con la excepción del potencial de acidificación (AP), los materiales instalados en el trasdosado interior tienen una contribución baja o despreciable sobre el impacto total del elemento constructivo del edificio. El impacto ambiental de los materiales aislantes es despreciable en todas las categorías.
- La parte ampliada de la figura 7 muestra que el indicador POCP debido exclusivamente al poliuretano es mayor que el del resto de aislamientos, pero en cambio la solución global tiene mejor comportamiento. Esto se debe a que el mayor ahorro energético conseguido por el poliuretano compensa el mayor impacto ambiental. Es un buen ejemplo que muestra por qué la elección del material aislante no puede separarse del contexto del ciclo de vida del edificio.

Haciendo el análisis del coste económico de las diferentes soluciones constructivas, el coste de la rehabilitación muestra resultados similares para las tres zonas climáticas. En promedio, a lo largo del ciclo de vida de 50 años, el coste de la solución con poliestireno expandido es un 8% mayor, y el de las soluciones con lana de roca y lana de vidrio un 11% mayor, que la solución con poliuretano. El menor coste de la solución con poliuretano se justifica por los mayores ahorros energéticos obtenidos a lo largo de la fase de uso del edificio.

5.2.- Conclusiones de la Parte 2

El Análisis de Ciclo de Vida muestra que, en el contexto del edificio, todas las soluciones de aislamiento tienen unas prestaciones ambientales globales similares. Los mayores ahorros energéticos durante la fase de uso de la solución con

poliuretano compensan el mayor impacto debido al propio material de PU en todos los indicadores.

El análisis económico muestra que en todas las soluciones constructivas recogidas en este capítulo, la solución con poliuretano tiene el menor coste a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio.

6.- Conclusiones

Si bien este estudio ha sido realizado por un organismo independiente (BRE), y estudia las soluciones constructivas más comunes, no puede reflejar todas las opciones arquitectónicas ni todos materiales aislantes presentes en el mercado. Por tanto, los resultados no pueden ser automáticamente extrapolados a todos los edificios. Pero el estudio aporta algunas conclusiones muy valiosas que se pueden utilizar para avanzar en los futuros trabajos de investigación:

- El aislamiento es un elemento clave para la construcción sostenible.
- La selección del material aislante no puede segregarse del contexto del edificio.
- Los materiales aislantes, en general, tienen una baja influencia sobre las prestaciones ambientales globales del edificio – incluso en el caso de edificios de bajo consumo. Comparados entre sí, los materiales aislantes más comunes muestran unas prestaciones ambientales muy similares cuando se evalúan en el contexto del edificio y a lo largo de todo su ciclo de vida.
- La elección de los materiales aislantes debería basarse en primer lugar, y principalmente, en su capacidad para proporcionar las mejores prestaciones energéticas del edificio y mantener esas prestaciones a lo largo de toda la vida útil del mismo.
- La conductividad térmica y la densidad del aislamiento son propiedades críticas a tener en cuenta en la evaluación del ACV, puesto que definen la cantidad de material necesario y sus efectos sobre el resto de los elementos constructivos y, por tanto, sobre sus prestaciones ambientales y su coste global.
- Las soluciones con poliuretano en edificios de bajo consumo ofrecen un bajo coste en su ciclo de vida.
- Un futuro trabajo de investigación debería cuantificar el impacto de una mayor huella de los edificios, debida a muros más gruesos, tanto desde un punto de vista ambiental como económico.

GLOSARIO

AP	Potencial de Acidificación
EP	Potencial de Eutrofización
EPS	Poliestireno Expandido
GW	Lana (o Fibra) de Vidrio
GWP	Potencial de Calentamiento Global

ACV	Análisis del Ciclo de Vida
ODP	Potencial de Eliminación de Ozono
PU	Poliuretano
POCP	Potencial de Creación Ozono Fotoquímico
R	Resistencia Térmica de un producto aislante ($m^2 \cdot K/W$)
SW	Lana de Roca
U	Transmitancia Térmica de una solución constructiva ($W/m^2 \cdot K$)
XPS	Poliestireno Extruido

REFERENCIAS

[1] prEN 15643-1:2008 Sostenibilidad de los trabajos de construcción — Evaluación de la sostenibilidad de los edificios — Parte 1: Marco General

[2] TC350 es el Comité Técnico responsable del desarrollo de métodos normalizados para la evaluación de los aspectos de sostenibilidad de los trabajos de construcción nueva y existente, así como de los estándares para la declaración ambiental de producto de los productos de construcción.