



Análisis de Ciclo de Vida Medioambiental y Económico de poliuretano aislante en edificios de energía casi nula

Índice:

1.	Resumen ejecutivo	1
2.	¿Qué son el ACV y el ACC?.....	3
3.	¿Por qué evaluar los materiales de construcción al nivel del edificio?.....	5
4.	Objetivos de los estudios y edificios modelo	7
5.	Resultados de los estudios	8
5.1	Caso 1: Edificio residencial – Construcción totalmente nueva	8
5.2	Caso 2: Edificio residencial – Rehabilitación de una cubierta inclinada ..	12
5.3	Caso 3: Edificio residencial – Cubierta plana	15
5.4	Caso 4: Edificio comercial – Construcción totalmente nueva.....	16
5.5	Caso 5: Edificio residencial – Rehabilitación de fachada con un revestimiento interior	20
6.	Conclusiones.....	23
7.	Glosario de términos	24
8.	Referencias.....	24

1. Resumen ejecutivo

Las prestaciones medioambientales y en costes son dos de los principales criterios de selección para la prescripción de productos de construcción. Junto con las prestaciones sociales, representan también los tres pilares del desarrollo sostenible.

Los que fijan las políticas, la industria, las ONG's y los usuarios finales están de acuerdo en la necesidad de que la industria de la construcción se mueva hacia conceptos y diseños de edificios más sostenibles. El asunto que los divide es cómo se puede evaluar mejor la sostenibilidad y qué herramientas se deberían utilizar para permitir a los constructores, prescriptores, arquitectos y los que dictan las políticas realizar elecciones de materiales con más información.

La mayoría de los expertos admite que la sostenibilidad de los materiales de construcción solo se puede evaluar a nivel de la unidad funcional, que es el edificio o, en algunos casos, el elemento constructivo del edificio. Este punto de vista es apoyado por CEN/TC 350 – el comité técnico encargado de desarrollar las normas europeas para la evaluación de la sostenibilidad de los edificios.

Algunos siguen fijando requisitos de prestaciones para los productos de construcción o incluso los propios materiales, en la creencia de que se pueden conseguir edificios sostenibles simplemente ensamblando productos llamados “verdes”. Esa es la perspectiva utilizada en el desarrollo de la mayoría de los criterios de compra pública para materiales de construcción etiquetados “eco” o “verdes” y al establecer “guías” para influenciar la elección de materiales de construcción. Pero se puede demostrar que ese punto de vista no conlleva necesariamente a la solución más sostenible en la práctica.

A lo largo de los últimos años, PU Europa ha encargado dos estudios para cuantificar los costes globales medioambientales y económicos de utilizar poliuretano (PU) y otros materiales de aislamiento en el diseño de edificios de energía casi nula. Los estudios fueron realizados por el BRE, el Building Research Establishment del Reino Unido (2010) y PriceWaterhouseCoopers – PWC (2013), respectivamente.

De ambos estudios se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- El aislamiento es un contribuyente clave para la construcción sostenible.
- La selección del material aislante no puede desconectarse del contexto específico del edificio. Fijar requisitos medioambientales o patrones a nivel del producto o evaluaciones basadas en un único indicador (energía incorporada, bio-recurso) no aportan una garantía de edificios “más verdes”.
- Los materiales aislantes contribuyen muy poco a las cargas generales medioambientales del edificio. En los edificios de energía casi nula, el consumo de energía operativa aún representa entre un 50% y un 70% de la energía primaria total (ver la **Figura 1**).
- Si se comparan entre sí, los materiales aislantes más comunes muestran unas prestaciones medioambientales muy similares si se evalúan a nivel de edificio a lo largo de todo el ciclo de vida útil.
- La elección de materiales aislantes deberá basarse, por lo tanto, en primer lugar en su capacidad para aportar las mejores prestaciones energéticas a nivel del edificio y para mantener niveles específicos de prestaciones a lo largo de todo su ciclo de vida útil.
- Se intentó incluir la fibra de madera (WF) en ambos estudios. En el estudio de BRE, hubo que omitir este material porque no se disponía de datos adecuados de ACC de dominio público. Para el estudio de PWC, se tomaron EPDs del esquema alemán de EPD. Pero dichos EPDs muestran un potencial de calentamiento global negativo para el aislante de fibra de madera. Esa interpretación de la función de “sumidero de carbón” de los productos basados en madera no es compartida por muchos científicos y las prácticas en otros países, haciendo imposible obtener una imagen nítida de sus prestaciones medioambientales. Este tema deberá ser tratado en la revisión de los estándares TC350.
- La conductividad térmica, y en algunos casos, la densidad del producto, son propiedades críticas a tener en cuenta en las evaluaciones de ACV y ACC pues definen la intensidad del material y sus efectos sobre la estructura del edificio y, por tanto, sus prestaciones globales medioambientales y de costes.
- Cuando hay que obtener unas propiedades mecánicas específicas, como ocurre en una cubierta plana, el uso de PU puede conllevar a unas prestaciones medioambientales significativamente mejores.

- Las soluciones de aislamiento con PU en edificios de energía casi nula pueden ofrecer bajos costes de ciclo de vida útil y pueden resultar más rentables que otras soluciones de aislamiento.
- Trabajos de investigación futuros deberían cuantificar el impacto de la huella de grandes edificios debido a fachadas más gruesas, en términos de prestaciones, tanto medioambientales como de costes.

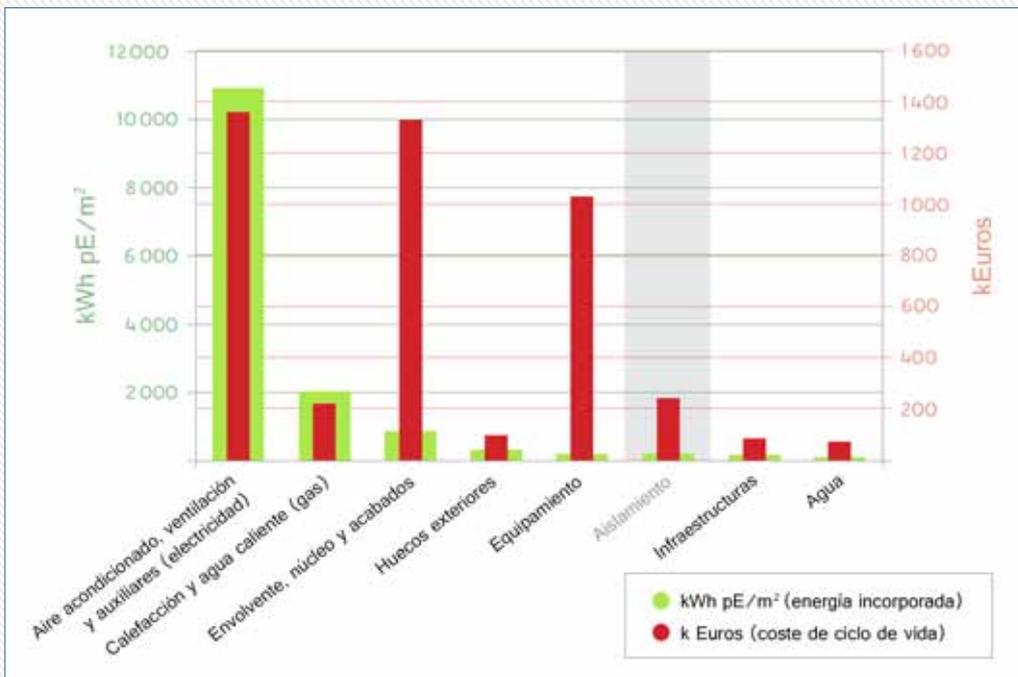


Figura 1: Costes totales y análisis cruzado de la energía primaria de un gran edificio comercial, según modelo de PWC (impacto a lo largo de 50 años)

Nota:

Los dos estudios se realizaron con un intervalo de tres años. Durante ese tiempo, se obtuvieron EPDs actualizadas para la mayoría de los productos cubiertos por este trabajo de investigación. Por tanto, los valores absolutos calculados en los estudios no pueden ser comparados directamente.

2. ¿Qué son el ACV y el ACC?

ACV – Análisis de Ciclo de Vida (en inglés LCA = Life Cycle Analysis) es una compilación y evaluación de las entradas, salidas y de los impactos medioambientales potenciales de un sistema de producto a lo largo de su ciclo de vida útil, incluyendo la extracción de las materias primas, fabricación, operación y eventual eliminación de los diferentes componentes. En ese contexto, un edificio o un sistema ensamblado se considera un “producto” y una parte de un “sistema de producto”. [1]

Las partes del ACV de los estudios actuales siguieron las normas CEN e ISO:

- EN 15643-1 Sostenibilidad en la construcción – Evaluación de la sostenibilidad de los edificios – Parte 1: Marco general;

- EN 15643-2 Sostenibilidad en la construcción – Evaluación de la sostenibilidad de los edificios – Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental;
- EN 15978 Sostenibilidad en la construcción – Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo. (estudio de PWC) e ISO 14044 Gestión ambiental – Análisis de ciclo de vida – Requisitos y directrices (estudio del BRE);
- EN 15804 Sostenibilidad en la construcción – Declaraciones ambientales de producto – Reglas de categoría de productos básicas para productos de construcción.

El trabajo del ACV utilizó un período de 50 años, en línea con la parte de costes de ciclo de vida del proyecto. Los resultados se presentaron como datos caracterizados y, en parte, normalizados (impactos anuales de un ciudadano del Oeste de Europa, incluyendo la UE15 más Noruega y Suiza) para las categorías de impacto medioambiental de

• GWP	Potencial de calentamiento global (kg CO ₂ eq)	Estudios de BRE/PWC
• ODP	Potencial de eliminación de ozono (kg CFC11 eq)*	Sólo estudio de BRE
• EP	Potencial de eutrofización (kg PO ₄)*	Sólo estudio de BRE study
• AP	Potencial de acidificación (kg SO ₂ eq)	Estudios de BRE/PWC
• POCP	Potencial de creación de ozono fotoquímico (kg ethene eq)	Estudios de BRE/PWC

* Datos no disponibles para todos los productos o discrepancias significativas en los datos anteriores

Flujos medioambientales:

• Entrada de energía no renovable, energía primaria (incluyendo materias primas) (MJ)	Sólo estudio de PWC
• Entrada de energía primaria total (incluyendo materias primas) (MJ)	Sólo estudio de PWC
• Residuos peligrosos hasta eliminación final (kg)	Sólo estudio de PWC
• Residuos no-peligrosos hasta eliminación final (kg)	Sólo estudio de PWC
• Residuos radioactivos hasta eliminación final (kg)	Sólo estudio de PWC

Costes de Ciclo de Vida – CCV (LCC = Life Cycle Costing) es una técnica para establecer el coste total de la propiedad. Es un punto de vista estructurado que tiene en cuenta todos los elementos de este coste y que se puede utilizar para producir un perfil de gastos del bien durante su vida útil prevista. Por conveniencia, dichos costes se suelen considerar bajo tres epígrafes: coste inicial, coste operativo y coste de eliminación (si es aplicable).

El análisis de CCV requiere que los cash flows se descuenten año a año para reflejar el valor del dinero en el tiempo. El valor tiempo/presente se calcula como sigue: $X/(1+r)^n$. [2]

Respecto a los estudios actuales, la especificación de los elementos y el coste de todos los componentes pretenden representar los costes típicos soportados por los propietarios de edificios. Los resultados de CCV muestran el coste acumulado tras 50 años de servicio, a un 3,5% (BRE) y 4,0% de inflación (PWC), respectivamente.

El CCV del primer estudio utiliza el modelo de costes de BRE, de acuerdo con BS/ISO 15686 Parte 5 [3], que define los costes del ciclo de vida como el "Coste de un bien o sus partes a lo largo de su vida útil, satisfaciendo los requisitos de prestaciones". Los costes durante la vida útil, tenían por tanto en cuenta el mantenimiento normal y la caducidad de componentes en su caso.

El estudio de PWC utilizaba EN 15643-4 "Marco para la evaluación de prestaciones económicas" para los cálculos del CCV.

Seleccionar el orden correcto para obtener los mejores resultados

- Aunque ACV y CCV son sin duda temas importantes, el principal objetivo del aislamiento es hacer que los edificios sean más eficientes energéticamente. Por ello, los diseñadores deberían fijarse en primer lugar en las soluciones que garanticen la menor conductividad térmica de la envolvente del edificio, para así minimizar el uso de la energía y maximizar los ahorros de CO₂ durante la vida del edificio.
- En segundo lugar, el edificio debería estar diseñado, y sus componentes elegidos, para mantener las prestaciones térmicas de esa envolvente durante la vida del edificio. Es crítico reducir los riesgos de fallos y elegir un material adecuado para el objetivo con los detalles adecuados. Se deberá prestar atención especial a la permeabilidad del material al vapor, sensibilidad a la humedad y la condensación, movimiento del aire y a la posible degradación física.
- En tercer lugar, los costes durante la vida útil de todo el componente o edificio se debería evaluar para tener en cuenta cualquier coste oculto y adicional relacionado con los requisitos específicos de instalación del aislante.
- Sólo después de haber tomado esas tres medidas se podrán afinar sobre las posibles alternativas, evaluando las credenciales medioambientales de las diferentes opciones de diseño a nivel del ciclo de vida útil del edificio.

3. ¿Por qué evaluar los materiales de construcción a nivel de edificio?

A su nivel más básico, el ACV puede tener en cuenta un cesto lleno de impactos medioambientales para un simple producto del edificio. Pero, para hacer comparaciones válidas, los diseñadores necesitan información sobre todo un edificio o elemento del edificio, como una fachada, cubierta o suelo. Un elemento de edificio puede estar hecho de varios productos. Trabajar con eco-perfiles tiene en cuenta eso, añadiendo todas las contribuciones de todas las piezas componentes.

Seleccionar simplemente productos que tengan individualmente un bajo impacto medioambiental y juntándolos no nos dará necesariamente los mejores resultados para el edificio (o elemento) en su conjunto. Por ejemplo, un producto aislante con un bajo impacto medioambiental puede tener también un bajo nivel de prestaciones. En el caso de unas menores prestaciones térmicas, se necesitará un mayor espesor para conseguir los valores de U especificados. A su vez, eso puede acarrear efectos negativos sobre el tamaño y el peso de la construcción y sobre la cantidad necesaria de otros elementos, aumentando tanto los impactos medioambientales como los costes de la construcción en su conjunto. En otros casos, un material con una mayor sensibilidad a la absorción de agua necesitará capas adicionales de protección, tales como capas impermeables. Los impactos medioambientales de esa capa adicional se deberán incluir en el cálculo de ACV.

La densidad y las prestaciones térmicas determinan el peso de la capa aislante. Las diferencias son sustanciales y originan efectos negativos sobre la estructura del edificio. En ciertas aplicaciones, y dependiendo del material seleccionado, el peso de la solución con aislante más pesado puede ser seis o incluso diez veces más alto que con la solución más ligera para el mismo valor de U del elemento constructivo.

Por eso el contexto es vital, y disponer de toda la información relevante permite a los prescriptores hacer comparaciones válidas entre los impactos medioambientales de diferentes soluciones de diseño de una manera práctica y realista.



Figura 2: Espesor de los diferentes aislantes y otros materiales para valores de R iguales

El gobierno federal belga investigó los impactos medioambientales de diez productos aislantes (y materiales) en diferentes diseños de fachadas [4]. Los resultados muestran claramente que impactos superiores incorporados en productos aislantes no conllevan necesariamente impactos más elevados a nivel del elemento constructivo. Como ejemplo, las Figuras 3 y 4 muestran el nexo entre los impactos resultantes de productos aislantes, otros productos constructivos y la energía operacional utilizada para las categorías de impacto "cambio climático" (GWP) y "eutrofización". El estudio cubría una amplia gama de indicadores medioambientales, que podrían ser igualmente relevantes. Las letras "A" hasta "D" significan diferentes soluciones de paredes.

Hay que tener también en cuenta que los resultados reflejan las prestaciones de productos específicos y no se pueden extrapolar a todos los productos aislantes producidos por los fabricantes implicados o, más en general, hechos del mismo material.

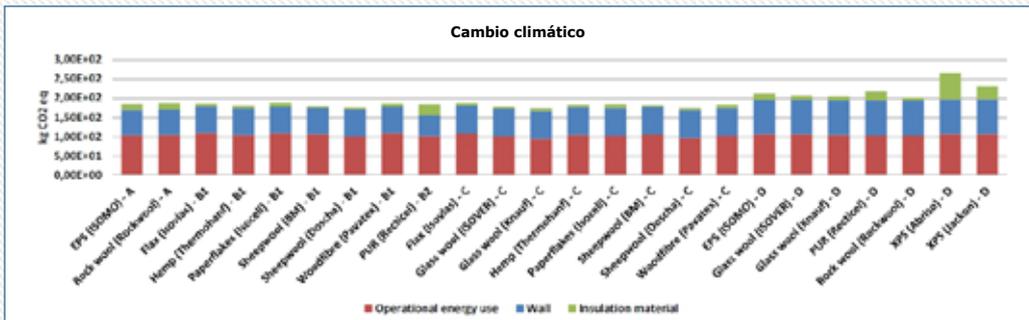


Figura 3: Comparación del impacto de toda la fachada en la categoría de cambio climático

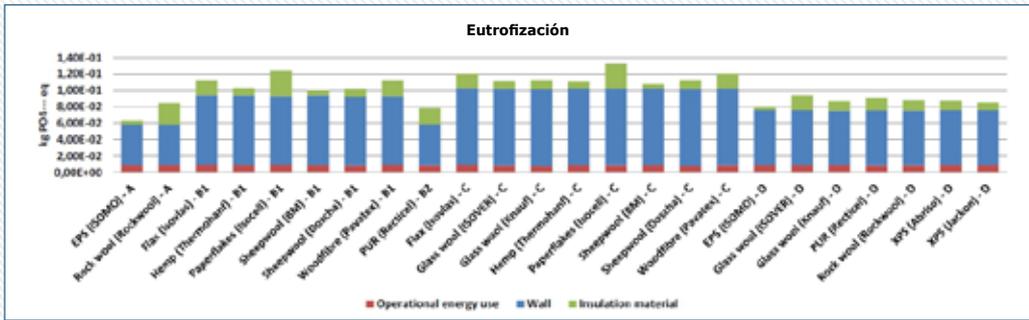


Figura 4: Comparación del impacto de toda la fachadas en la categoría de eutrofización

4. Objetivos de los estudios y edificios modelo

Objetivos de los estudios

El objetivo global de los estudios era cuantificar la contribución del aislante de PU a las prestaciones medioambientales y económicas de los edificios de energía casi nula (y sus elementos constructivos) y compararlas con el uso de materiales aislantes alternativos utilizados en las mismas aplicaciones. Los impactos medioambientales de las diferentes soluciones aislantes se han comparado con los beneficios en la fase de uso, como el consumo de energía del edificio a lo largo de su vida útil.

Se buscó la evidencia de que al fijar criterios medioambientales a nivel de producto o comparar materiales aislantes sin conocer los requisitos exactos de diseño del edificio, no acarrearía resultados significativos.

El elemento innovador de los estudios consistió en que fueron más allá de las comparaciones de impactos medioambientales por unidad de peso o valor de R. Por primera vez, un estudio midió también los efectos negativos de la elección de materiales sobre el propio edificio (estructura adicional, cimientos y cubiertas más grandes, requisitos añadidos, etc.). Ese es el motivo por el que los impactos de los materiales de construcción difieren para las diferentes soluciones investigadas por elemento constructivo.

Edificios modelo

El BRE diseñó el edificio modelo y los componentes del edificio, determinó las soluciones aislantes y las elecciones de materiales de construcción a partir de sus propias bases de datos. PU EUROPE sólo definió los valores de U para los componentes del edificio basados en niveles típicos de edificios de energía casi nula.

El edificio modelo fue una pequeña casa individual del *Standard Informe de Clientes de BRE Viviendas Estándar para Modelos de Energía* (CR444/98) por Peter Iles. El área total del suelo de la casa de dos plantas fue de 104m² con los sistemas de calefacción, iluminación, etc. fijos, variando únicamente el aislamiento de la envolvente del edificio. Ese edificio modelo se utilizó también para la segunda parte del estudio de PWC.

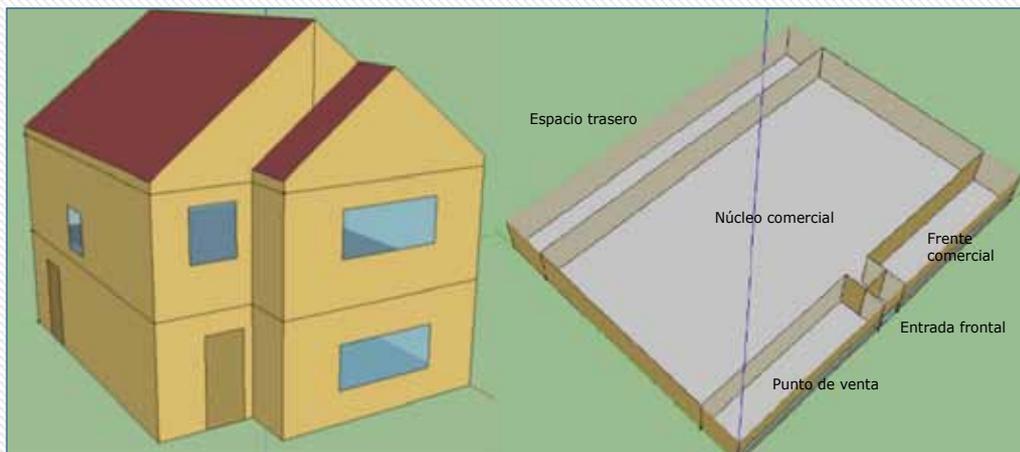


Figura 5: Edificios residenciales y comerciales de referencia

Además, PWC modeló un edificio comercial aislado (minorista). Debido a la falta de edificios comerciales modelo en Europa, la definición del edificio modelo se basa en los trabajos realizados por el Departamento de Energía de los EEUU.

Se contemplaron tres zonas climáticas: Mediterránea, Oceánica Templada y Fría Continental. Las construcciones modeladas eran comunes y relevantes en todas las zonas climáticas del estudio.

Mientras que el estudio de BRE utilizaba valores similares de U para todas las zonas climáticas, PWC aplicó valores de U dependientes de las condiciones climáticas de cada región.

Cálculo de las emisiones de energía para calefacción y refrigeración espacial

La energía utilizada para la calefacción de los espacios se calculó utilizando una versión de BRESAP corregida para las diferentes zonas climáticas exteriores. La fuente de energía fue el gas natural.

En el caso del estudio de BRE, hubo naturalmente una clara diferencia en consumo de energía para la calefacción de los espacios entre los tres climas exteriores. Por ejemplo, utilizando la zona Oceánica Templada como consumo básico, el consumo de calefacción en los edificios nuevos de la zona Fría Continental fue un 140% más elevado.

La demanda de calefacción y refrigeración del gran edificio comercial fue investigada por PWC utilizando datos del Departamento de Energía de los EEUU con algunos ajustes menores.

El estudio de BRE constó de tres partes:

- Parte 1: impacto del aislante en edificios nuevos desde una perspectiva constructiva total
- Parte 2: impacto del aislante en la rehabilitación cuando hay límites de espesor
- Parte 3: impacto del aislante en cubiertas planas calientes de nueva construcción

El estudio de PWC constó de dos partes:

- Parte A: impacto del aislante en grandes edificios comerciales nuevos
- Parte B: impacto del aislante en la rehabilitación de una cubierta inclinada de una vivienda

5. Resultados de los estudios

5.1 Caso 1: Edificio residencial – Construcción totalmente nueva

BRE Parte 1: Impacto del aislante en nueva construcción desde una perspectiva del edificio completo – impacto de la conductividad térmica

En el primer caso se estudió el edificio totalmente nuevo – una casa individual de tres dormitorios en dos plantas. Los valores de U para los diferentes componentes del edificio se fijaron así:

- Cubierta inclinada: 0,13 W/m²·K
- Fachada con cámara: 0,15 W/m²·K
- Suelo: 0,18 W/m²·K
- Ventanas: 2,10 W/m²·K

Las pérdidas de calor asociadas al puente térmico: valor de $\gamma = 0,08 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

El objetivo era evaluar las prestaciones de cada diseño, utilizando diferentes soluciones aislantes basadas en PU, lana de roca y lana de vidrio. Debido a sus diferentes niveles de conductividad térmica, se utilizaron con diferentes espesores para conseguir los mismos valores de U. De hecho, para conseguir un valor de U de 0,15 W/m²·K para la fachada con cámara, bastaron 180 mm de aislante de PU, mientras que las soluciones con lana de roca y lana de vidrio necesitaron una capa de aislante de 270 mm. Las soluciones de cubierta inclinada utilizaron 190 mm de PU, 300 mm de lana de vidrio y 310 mm de lana de roca.

Aislamiento Aplicación	PU		Solución con lana de roca		Solución con lana de vidrio	
	Fachada con cámara	Cubierta inclinada	Fachada con cámara	Cubierta inclinada	Fachada con cámara	Cubierta inclinada
Espesor en mm	180	90 entre vigas 100 sobre vigas	270	220 entre vigas 90 sobre vigas	270	300 entre vigas
Densidad en kg/m ³	32	32	39	45 entre vigas 145 sobre vigas	17	17
Peso kg/m ²	5,76	5,76	10,53	22,95	4,59	4,59
Lambda W/mK	0,022	0,023	0,037	0,038	0,032	0,037
Valor de U W/m ² K	0,15	0,13	0,15	0,13	0,15	0,13

Puesto que había que mantener constantes el área y el volumen de la superficie utilizable, hubo que adaptar el diseño del edificio para ajustarse a las diferencias de espesor de los componentes (**Figura 6**).

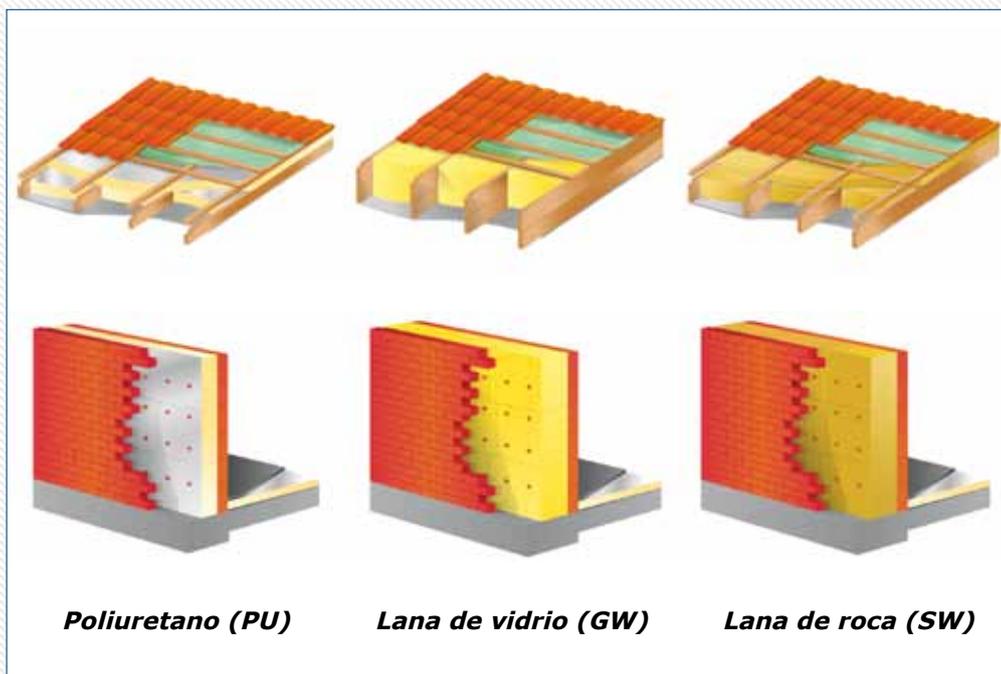


Figura 6: Soluciones de diseño para el aislante de cubierta inclinada y fachada con cámara, reflejando las relaciones reales de espesor de la capa aislante

Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

La **Figura 7** muestra el impacto medioambiental normalizado para los cinco indicadores seleccionados (GWP, AP, POCP, EP y ODP) para las soluciones aislantes el PU, lana de vidrio y lana de roca.

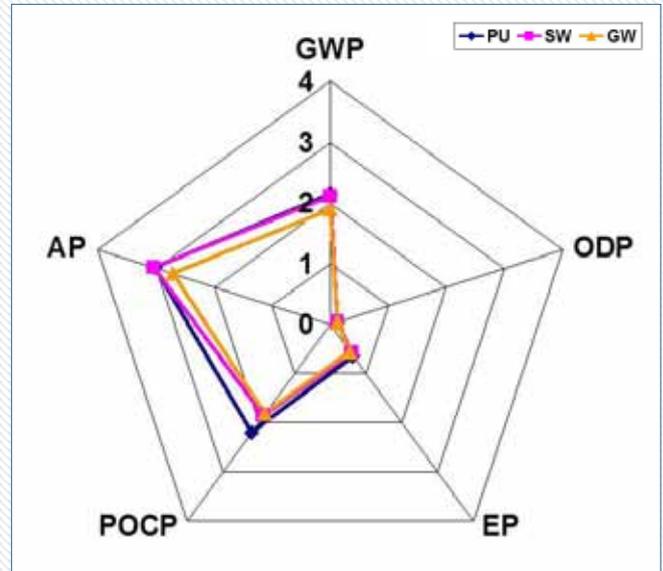
Los datos normalizados aportan una comparación del tamaño relativo de cada categoría de impacto medioambiental. Los resultados excluyen la contribución al impacto medioambiental de la energía

consumida durante la fase de uso de los edificios, al ser igual para las tres soluciones de diseño.

Figura 7: Edificio completo – Impactos medioambientales normalizados por categoría de impacto (clima oceánico templado)

El gráfico muestra claramente que, a nivel de edificio, no hay diferencias significativas en los niveles de prestaciones. Los resultados son similares para las tres zonas climáticas.

Se observa que, en los tres casos, el suelo de planta baja estaba aislado con un valor constante de U de $0,18\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Un capítulo aparte contempló EPS como alternativa al PU en la planta baja y se podía extraer la misma conclusión: no hay diferencias notables de prestaciones medioambientales de los dos materiales.



El estudio permite también la comparación de los impactos medioambientales incorporados en los materiales de construcción y aislantes con el uso de energía del edificio en las tres zonas climáticas (**Figura 8**).

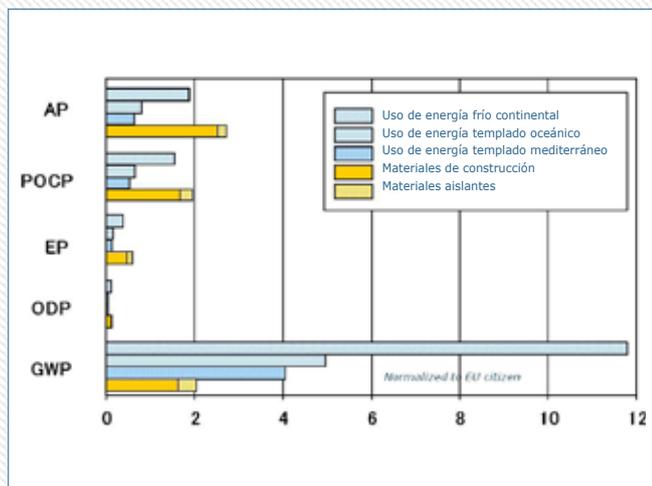


Figura 8: Datos normalizados – Uso de la energía, materiales de construcción y aislantes (El impacto de los materiales de construcción y aislantes es una media de las tres soluciones de diseño)

La **Figura 8** muestra que los materiales de construcción y aislantes de inmueble utilizado como modelo eran responsables sólo un tercio, aproximadamente, del GWP total, con casi dos tercios originados por el uso energético del edificio. Eso contradice de algún modo la afirmación de que, en los diseños de baja energía, los impactos medioambientales de los materiales de construcción superan los de la fase de uso del edificio.

Por otro lado, los AP, POCP y EP totales de los materiales de construcción y aislantes fueron superiores a los originados por el uso energético del edificio.

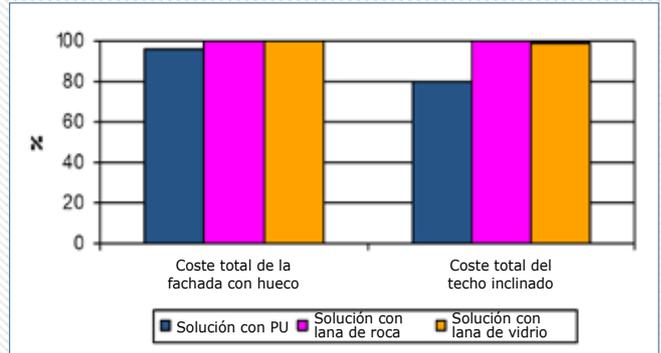
Otra conclusión importante es que la cuota de los materiales de construcción en el impacto medioambiental total de un edificio es muy pequeña.

Figura 9: CCV de las soluciones para fachada con cámara y cubierta inclinada para un clima oceánico templado (50 años de costes acumulados, a un 3,5% de amortización)

Coste de Ciclo de Vida (CCV)

El análisis de CCV del elemento fachada y del elemento cubierta mostró que, para todas las zonas climáticas y en todos los casos, la solución con PU era más rentable a lo largo del ciclo de vida de 50 años del elemento constructivo. En especial, la cubierta inclinada de PU resultó ser un 20% más barata (Figura 9). La planta baja no fue investigada, puesto que se utilizó el PU en todos los casos.

Los costes globales más elevados de las soluciones con lana de vidrio y lana de roca se pueden explicar por las diferentes cantidades de aislante necesarias para conseguir los valores de U requeridos y los efectos negativos del espesor del aislante sobre el propio edificio. Más muro exterior de ladrillo, anclajes de fachada más largos y más cimientos fueron necesarios en el caso de la fachada con cámara. Los resultados de la cubierta inclinada se vieron afectados por la necesidad de elementos estructurales más anchos y una mayor área de recubrimiento de la cubierta.



¿Sabía que un efecto de una cavidad nueva en la fachada es la huella adicional requerida para la cubierta y el suelo? En un terreno grande de edificación, eso podría afectar a la densidad o número de propiedades que se pueden instalar en la parcela, es decir, en el peor de los casos, 4,00m² extra de superficie de cubierta por cada vivienda podrían significar que sólo cabrían 9 viviendas en una zona que hubiese podido acomodar 10 si los muros exteriores hubiesen sido más delgados. El coste potencial y el impacto medioambiental de eso no se tuvieron en cuenta en el estudio actual y podrían representar un tema para futuras investigaciones.

Conclusiones para BRE Parte 1:

• **ACV**

El análisis mostró que, a nivel de edificio, todas las soluciones de aislamiento consideradas mostraban prestaciones globales medioambientales muy similares. Se podría demostrar también que la contribución del material aislante a la carga medioambiental global del edificio es muy limitada. Incluso en edificios de baja energía, la energía consumida en la fase de utilización del edificio contribuye mucho más al calentamiento global que la construcción y los materiales aislantes. Por otro lado, los AP, EP y POCP de los materiales superan los causados por el uso de energía del edificio.

• **CCV**

Para todas las soluciones de diseño recogidas en el estudio de BRE, el PU mostró el coste más bajo en el ciclo de vida útil. Aunque ese resultado no pueda ser extendido a todas las posibles soluciones de diseño de edificios, es un indicador de la competitividad en costes del PU.

5.2 Caso 2: Edificio residencial – Rehabilitación de una cubierta inclinada

PWC Parte B: Impacto del aislante en la rehabilitación de una cubierta inclinada tradicional de una vivienda

PWC utilizó el mismo modelo de pequeña vivienda individual para simular la rehabilitación de su cubierta inclinada. La cubierta ya estaba aislada con 8 cm de antigua lana de roca entre las correas. La medida de rehabilitación indicó un descenso del 14 % en el consumo de energía de calefacción.

Todos los demás elementos de edificio y equipos se mantuvieron inalterados. Los muros existentes y el suelo se consideraron mal aislados originando un nivel elevado de infiltración de aire. Eso acarreeó más pérdidas de calor y resaltó la necesidad de un punto de vista global y una renovación en profundidad.

- Valor de U de la cubierta existente:
0,52 W/m²·K
- Valor de U de la cubierta renovada:
0,16 W/m²·K

Es importante observar que el estudio de PWC modelizaba el diseño de la cubierta inclinada según las soluciones de instalación promovidas por los diferentes materiales aislantes (ver más abajo).

	Solución con PU	Solución con fibra de madera	Solución con lana de roca	Solución con lana de vidrio
Espesor total <i>mm</i>	100	225	235	200
Densidad <i>kg/m³</i>	32	55 entre vigas 140 sobre vigas	70 entre vigas 165 sobre vigas	28
Lambda <i>W/mK</i>	0,023	0,038 entre vigas 0,042 sobre vigas	0,036 entre vigas 0,040 sobre vigas	0,036
Valor de U <i>W/m²K</i>	0,16	0,16	0,16	0,16
Instalación	Colocado sobre las vigas (capa aislante existente – 80 mm lana de roca – entre vigas puede permanecer colocada)	Colocado entre (125mm) y encima de las vigas (180 mm): capa aislante existente entre las vigas retirada y relleno completamente con fibra de madera	Colocado entre (100mm) y encima de las vigas (135 mm): capa aislante existente entre las vigas retirada y relleno completamente con lana de roca	Colocado entre las vigas (100mm) y debajo de las vigas (100mm): capa aislante existente entre las vigas retirada y relleno completamente con lana de vidrio y una estructura de aluminio añadida perpendicular a las vigas para una capa adicional de lana de vidrio

Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

Como muestra la **Figura 10**, los impactos medioambientales de las diferentes soluciones de aislamiento a lo largo del ciclo de vida del edificio son relativamente similares con todos los indicadores, dentro de un margen del 10 %. La elección del material aislante tiene por tanto una importancia secundaria al evaluar las prestaciones medioambientales de esta cubierta inclinada.

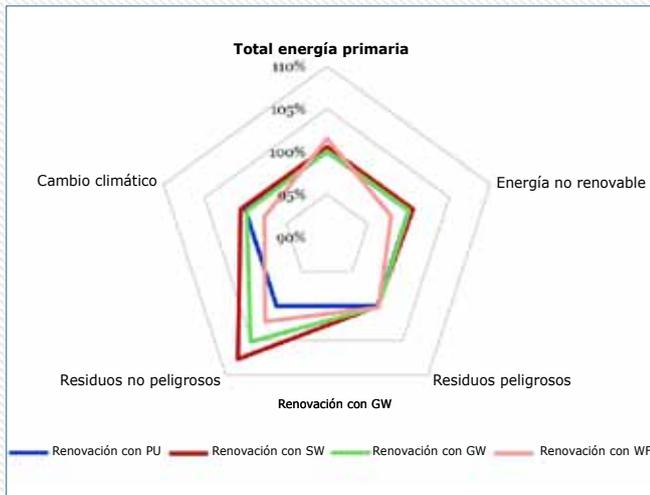
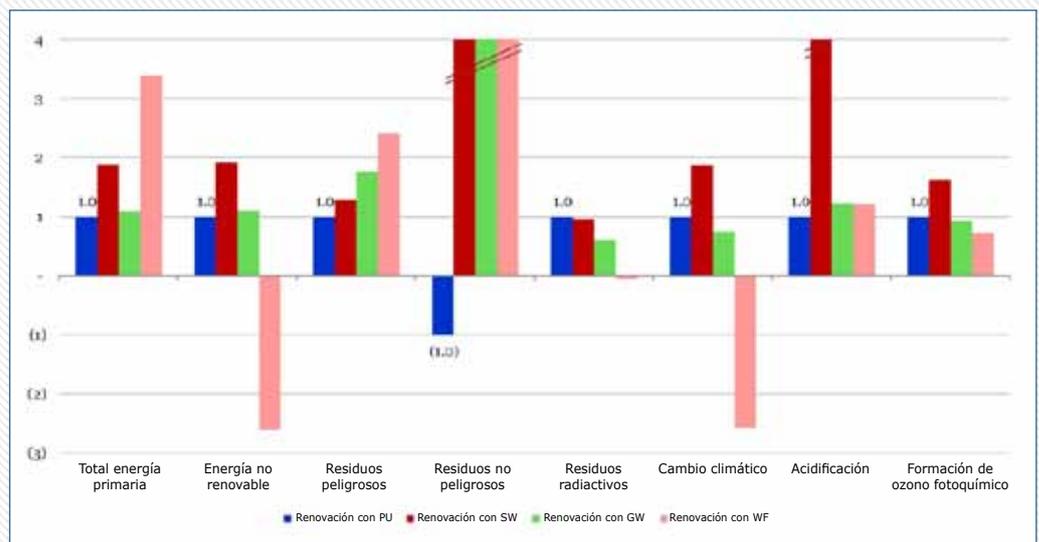


Figura 10: Resultados relativos durante todo el período del estudio (el escenario de PU empieza al 100%)

Una mirada a los impactos directamente incorporados de la cubierta rehabilitada muestra unas buenas prestaciones de la solución con PU en prácticamente todas las categorías de impacto (ver la **Figura 11**). Eso se debe principalmente a las elevadas prestaciones térmicas del PU, la poca necesidad de materiales añadidos y al hecho de que la solución con PU permite mantener en su sitio la capa aislante existente. Otras soluciones exigen rellenar el espacio entre vigas con nuevo aislante para satisfacer los requisitos del valor de U.

Otra cosa importante es el potencial de calentamiento global negativo de la solución de fibra de madera. Esa interpretación de la función de "sumidero de carbón" de la madera era hasta ahora común en Alemania y sólo se disponía de EPDs alemanes para esos productos. Las suposiciones son sin embargo puestas en duda por muchos científicos y profesionales de otros países [5]. La EN 16485, normas de categoría de Productos para madera y productos basados en madera para su uso en la construcción, especifica que el CO₂ bio-génico debería ser considerado una propiedad intrínseca del producto siempre que el proceso de recogida de la madera no afecte a la propiedad común de los bosques de carbono (es decir, deforestación). Además, el estándar nos recuerda que CO₂ bio-génico está solo temporalmente "capturado en la madera" y será liberado al final de su vida, con un balance neto de CO₂ bio-génico que a la postre será neutro. Al contabilizar el impacto del carbono en todos los procedimientos forestales relacionados y el tratamiento de la madera, el GWP intrínseco de la madera no debería mostrar valores negativos.

Figura 11: Resultados relativos de la rehabilitación de componentes de la cubierta (el escenario de PU siendo el 100%)



Costes del Ciclo de Vida (CCV)

Como muestra la **Figura 12**, la solución de la lana de vidrio es alrededor de un 28%, la solución de lana de roca del 41% y la solución de fibra de madera un 54% más caras que la solución con PU. Los motivos para los costes inferiores son parecidos a los mencionados bajo el encabezado de ACV: elevadas prestaciones térmicas del PU, necesidad reducida de materiales añadidos y la capa de aislante existente que puede permanecer instalada.

Figura 12: Costes de reacondicionamiento de la cubierta inclinada – componentes

Considerando el ciclo de vida completo, el coste adicional de mejorar el aislamiento de la cubierta es muy bajo (1 % de los costes de la vida útil) utilizando cualquier aislante, mientras que los ahorros son importantes. Los costes de construcción de todo el edificio (32 %) y el coste de la energía durante la fase de uso (26 %) dominan los costes globales (ver la **Figura 13**).

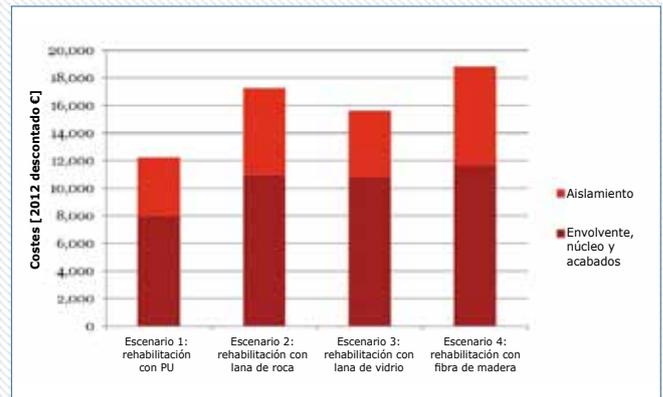
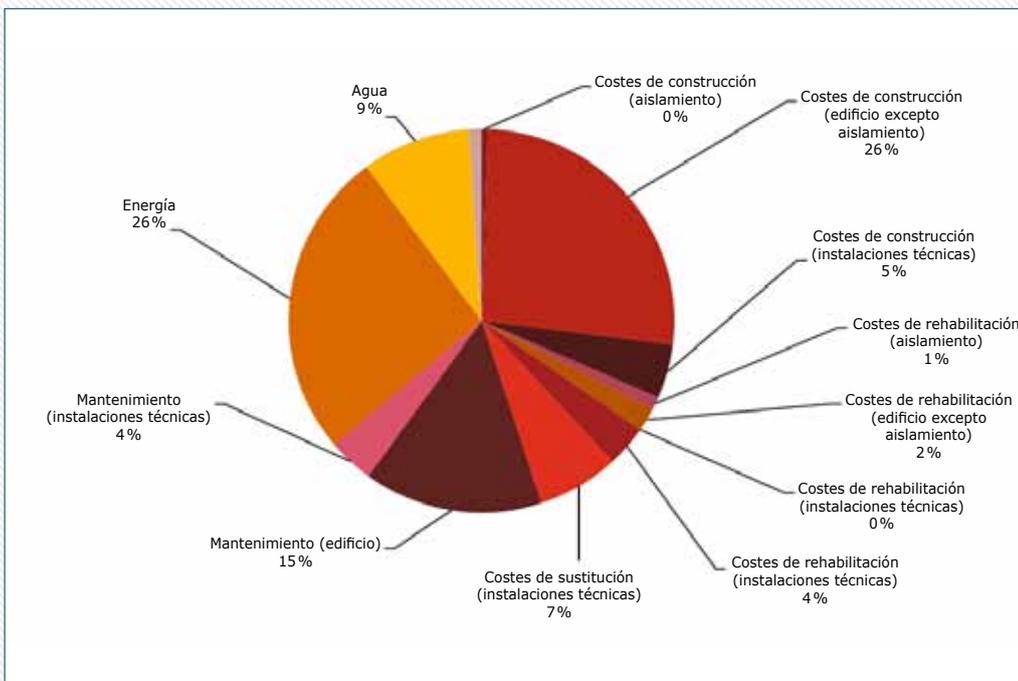


Figura 13: Desglose de los costes del ciclo de vida útil para el edificio residencial



Conclusiones para PWC Parte B:

- ACV**
De nuevo, el análisis mostraba que, a nivel de edificio, todas las soluciones de aislamiento consideradas mostraban unas prestaciones medioambientales globales muy similares a lo largo del ciclo de vida útil. Cada solución de aislamiento tiene diferentes categorías de impacto “fuertes” y “débiles”. Eso recalca la necesidad de declarar todos los indicadores, en lugar de fundirlos todos en una puntuación global.
- CCV**
El PU mostró el coste de ciclo de vida útil más bajo para esta rehabilitación de cubierta inclinada. De nuevo, no hay que generalizar estas conclusiones, pues todos los fabricantes ofrecen diferentes soluciones para las rehabilitaciones. También hay que tener en cuenta que el coste adicional del aislante forma una parte ínfima de los costes del ciclo de vida útil.

5.3 Caso 3: Edificio residencial – Cubierta plana

BRE Parte 3: Cubierta plana de nueva construcción – Impacto de los requisitos técnicos específicos

Para la Parte 3 del estudio de BRE, la cubierta de la casa modelizada se sustituyó por una cubierta plana con un valor de U de 0,15W/m²·K (Figura 14). El consumo de energía en la fase de uso del edificio no se tuvo en cuenta, pues se asumió que era el mismo para todas las soluciones.

Los materiales aislantes utilizados en las cubiertas planas, y especialmente las que soportan tráfico peatonal, deben ofrecer propiedades mecánicas adicionales tales como suficiente resistencia a la compresión, propiedades peatonales y densidad adecuada. Eso puede afectar a las prestaciones medioambientales generales de un material específico.

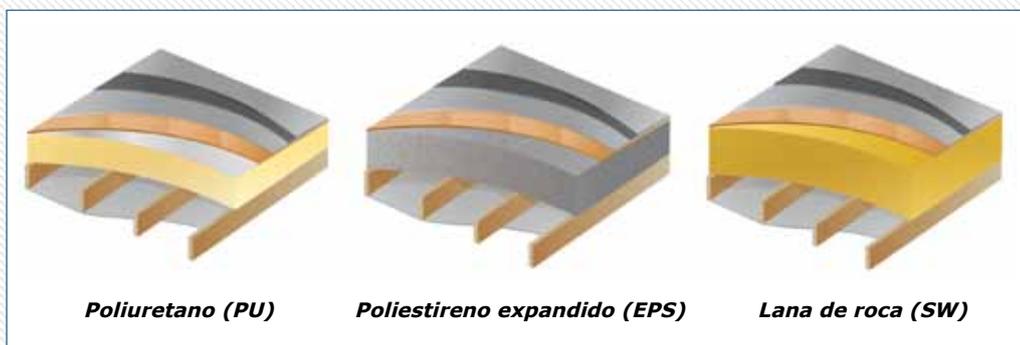


Figura 14: Soluciones de diseño para aislamiento de la cubierta plana, reflejando las relaciones reales del espesor de la capa aislante

Basado en el valor de U a conseguir y en los niveles de conductividad térmica de los materiales aislantes, el BRE proponía las soluciones de diseño siguientes para un tejado plano típico:

Aislamiento	PU	EPS	Lana de roca
Densidad kg/m ³	32	30	130
Conductividad térmica W/mK	0,023	0,034	0,038
Espesor mm	150	220	255
Superficie de la cubierta m ²	64	64	64
Peso kg	307	422	2121

Análisis del Ciclo de Vida (ACV)

A diferencia de las partes 1 y 2, el análisis de la cubierta plana muestra diferencias más significativas entre las soluciones de materiales diferentes (Figura 15). La solución de PU mostraba un GWP un 26% inferior al de la solución con lana de roca. El POCP de la solución de PU era un 30% inferior a la del EPS y la de AP 57% inferior a la de la lana de roca.

Las diferencias significativas se pueden explicar por el hecho de que el PU puede aportar elevadas prestaciones mecánicas con baja densidad y poco espesor, reduciendo así la intensidad del material. Sólo hay que ver que la cubierta plana de 64m² analizada en este estudio, necesitaba 307kg de PU, pero 2121kg de lana de roca.

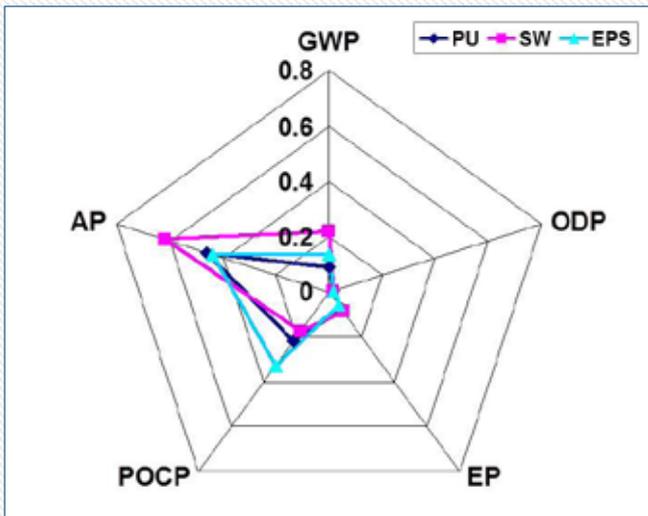
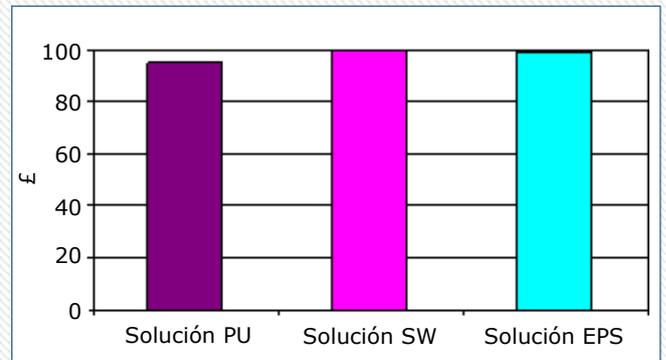


Figura 15: Cubierta plana – Impactos medioambientales normalizados por categoría de impacto (material para cubierta y aislante)

Costes del Ciclo de Vida (CCV)

Los resultados de la Parte 3 indicaron que el poliuretano de 150 mm tiene los costes más bajos del ciclo de vida (-5%) al utilizarlo en todas las regiones, seguido por el poliestireno expandido (EPS) de 220 mm y el aislante de lana de roca de 255mm (ver la **Figura 16**).

Figura 16: CCV de las soluciones de fachada con cámara y cubierta inclinada (50 años de costes acumulados, con una amortización del 3,5%)



Conclusiones para BRE Parte 3:

- **ACV**
Cuando hay que conseguir unas propiedades mecánicas específicas, el uso del PU con su baja densidad y su bajo espesor puede conllevar importantes beneficios medioambientales.
- **CCV**
La solución del PU mostraba los costes de ciclo de vida útil más bajos. Pero las diferencias son demasiado pequeñas para ser generalizadas.

5.4 Caso 4: Edificio comercial – Construcción totalmente nueva

PWC Parte A: Impacto del aislante sobre nueva construcción – gran edificio comercial nuevo

Esta parte del estudio trataba sobre un nuevo edificio de minorista de 2 300m² con fachadas de paneles en sándwich y una cubierta plana metálica aislada. Los valores de U variaban entre las zonas climáticas, pero eran similares para todas las soluciones de aislantes por zona climática (ver la tabla). El equivalente funcional fue definido como la superficie interna.

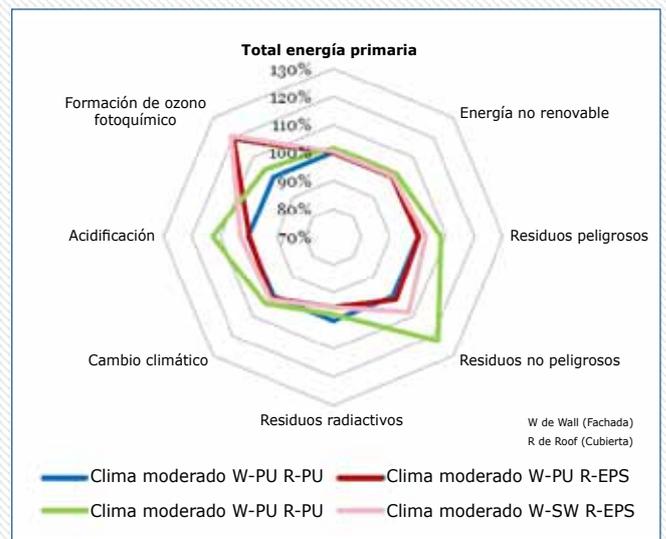
Valores de U por zona climática y elemento constructivo

	Material aislante	Densidad [kg/m³]	Peso de la capa aislante (t)	Peso de la estructura de acero (chapa y vigas) (t)	Lambda [W/mK]	Ancho Real [m]	Valor de U [W/m²K]
Cubierta plana							
Continental frío	PU	40			0,022	0,130	0,170
	SW	110			0,040	0,240	0,170
Moderado	PU	40			0,022	0,130	0,170
	SW	110			0,040	0,240	0,170
Mediterráneo	PU	40			0,022	0,100	0,230
	SW	110			0,040	0,170	0,230
Flat roof							
Continental frío	PU	32	24	172	0,023	0,330	0,069
	SW	150	197	185	0,040	0,570	0,069
	EPS	25			0,035	0,500	0,069
Moderado	PU	32	10,7	126	0,023	0,145	0,155
	SW	150	86,6	141	0,040	0,250	0,156
	EPS	25			0,035	0,220	0,156
Mediterráneo	PU	32	9,6	126	0,023	0,130	0,173
	SW	150	76,2	141	0,040	0,220	0,177
	EPS	25			0,035	0,195	0,175

Figura 17: Prestaciones relativas durante todo el período del estudio para todo el edificio (el escenario de W-PU, R-PU siendo 100 %)

Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El análisis de todo el ciclo de vida del edificio mostraba prestaciones similares para todas las opciones de diseño para determinados indicadores de prestaciones. Las diferencias más significativas emergían para la acidificación e incluso más para POCP y las cantidades de residuos no-peligrosos. Para los dos últimos indicadores, las cargas de las dos opciones con peores prestaciones son más de un 20 % superiores a las de mejores prestaciones. La solución de PU ofrece niveles favorables de prestaciones para todas las categorías (ver la **Figura 17**).



El análisis de los impactos incorporados de los elementos constructivos individuales muestra algunas diferencias más visibles entre las soluciones de aislamiento. Referente a la cubierta, las soluciones de PU y EPS tienen unos niveles de impacto muy similares. Únicamente el POCP es sustancialmente más elevado para el EPS. Las soluciones de lana de roca muestran una acidificación y unos niveles de desechos no peligrosos sensiblemente superiores.

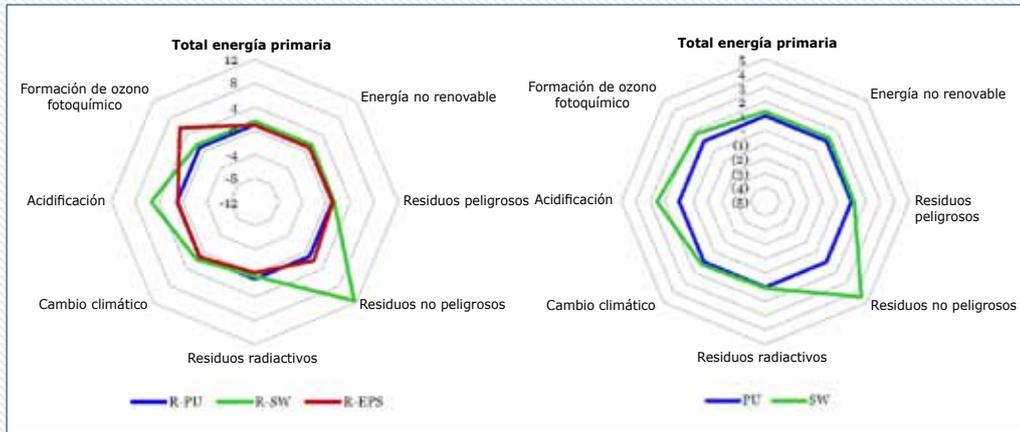


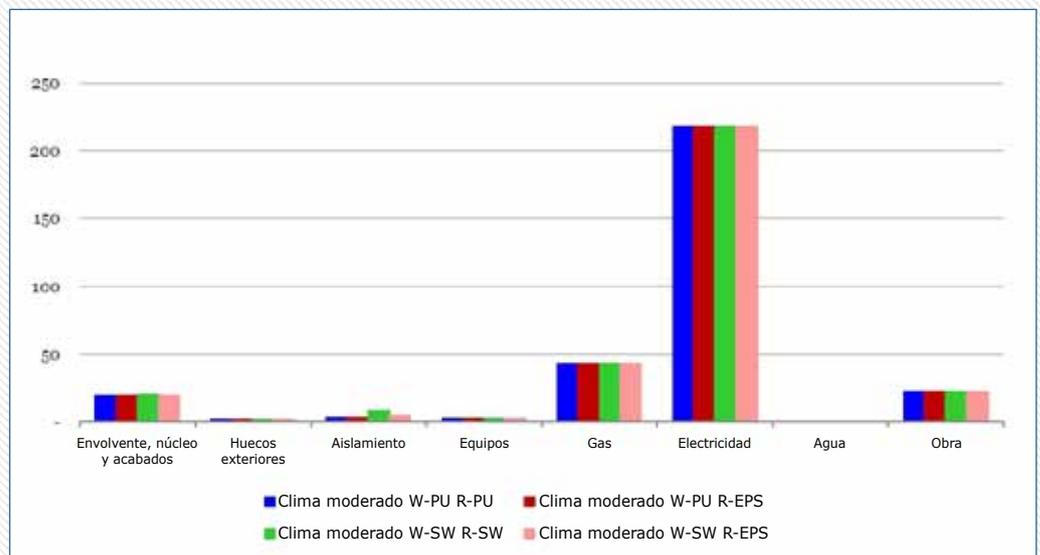
Figura 18: Resultados relativos para la cubierta plana y la fachada (clima moderado, la solución de PU siendo 1,00)

Por último, resulta interesante observar el impacto de las diferentes soluciones aislantes sobre el edificio completo durante su ciclo de vida. La **Figura 19** muestra que los impactos debidos a la construcción del edificio son unas ocho veces inferiores a los debidos al consumo energético durante la fase de uso. El impacto del aislante es, por lo menos, 30 veces inferior al del consumo energético y eso es independiente del aislante utilizado. El consumo de energía primaria debido al aislante varía entre el 1% y el 2,7% del impacto del edificio durante todo el período del estudio. Esa relación no varía mucho de una zona climática a otra.

Igualmente, los impactos sobre el cambio climático debidos al aislante varían solo entre el 1,5% y el 4,1% de los impactos del edificio y son, por lo menos, 20 veces inferiores a los impactos debidos al consumo energético durante la fase de uso.

Eso demuestra claramente que, incluso en edificios comerciales de baja energía, los impactos durante la fase de uso son mucho mayores que los impactos incorporados en los productos de construcción/aislamiento.

Figura 19: Desglose de la energía primaria total para todo el ciclo de vida útil del edificio (construcción, uso, demolición)

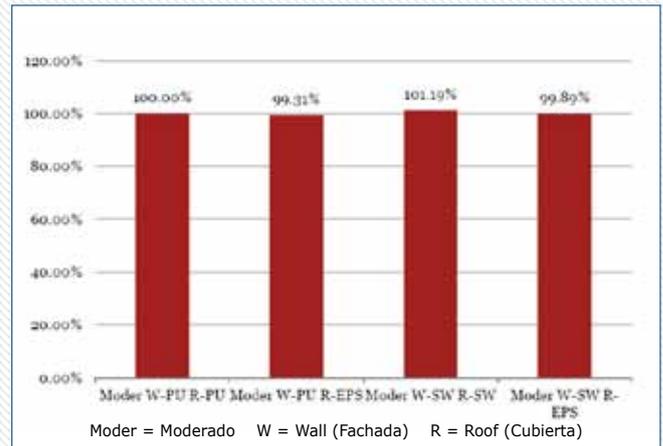


¿Sabía que la elección del material aislante puede tener un impacto sustancial sobre la huella total del edificio y sobre el espacio de suelo interior disponible? Esto último afecta en especial a los costes durante el ciclo de vida, debido a los ingresos por alquiler. El impacto se puede ver al cambiar el equivalente funcional de la superficie interior a la huella exterior del edificio. En el caso de un edificio comercial de 2300m², la solución de pared con PU hubiese proporcionado 24 m² de superficie adicional y 674 m³ de volumen adicional comparada con las otras soluciones. Si suponemos un alquiler anual de €300 por año y m², los ingresos adicionales gracias al aislante de PU durante un ciclo de vida útil de 50 años sumarías hasta €360.000.

Costes del Ciclo de Vida (CCV)

Los costes totales del ciclo de vida del edificio son muy parecidos para todos los escenarios (ver la **Figura 20**). Esto se debe principalmente al hecho de que el coste del aislamiento cuenta solo el 5% del coste del ciclo de vida, mientras que el 31% del CCV se puede atribuir al consumo energético durante la etapa de uso.

Figura 20: Costes relativos del ciclo de vida para todo el edificio (la solución PU/PU siendo el 100%)



El análisis de los costes iniciales de construcción muestra que la solución con lana de roca en una cubierta plana y los paneles de sándwich serían los más caros, mientras que la combinación de paneles en sándwich de PU con una cubierta plana de EPS sería la más barata. Aparte de la solución de lana de roca, las diferencias son sin embargo pequeñas y no permiten un ranking claro. El gráfico de la **Figura 21** muestra también costes más elevados para la estructura metálica si se utiliza un aislante de alta densidad para la cubierta.

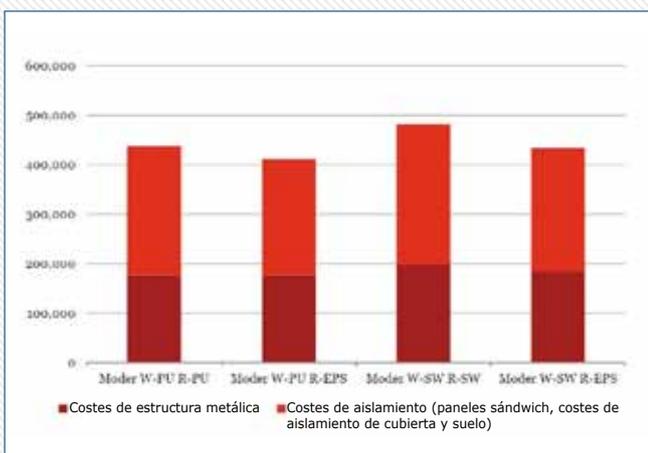


Figura 21: Costes de construcción (estructura metálica, paneles sándwich y aislante de la cubierta)

¿Sabía que la elección del material aislante puede tener efectos negativos sobre toda la estructura del edificio? Tomando el mismo edificio como ejemplo, la estructura metálica de la cubierta Deck puede resultar unas 15t más ligera en los climas mediterráneo y templados cuando se utiliza la solución con PU en lugar de la solución más pesada. La diferencia es de 13t para el clima frío. Esa ganancia de alrededor del 10% se debe al hecho de que la capa aislante de la cubierta con PU pesa sólo 10,7t comparada con las 86,7t de la capa aislante más pesada (clima templado).

Conclusiones para PWC Parte A:

- **ACV**

A igual que en el capítulo anterior, este ejemplo pone de relieve el impacto de la densidad del producto aislante sobre las prestaciones medioambientales de las cubiertas planas y los paneles en sándwich. La baja densidad y las elevadas prestaciones térmicas del PU permiten utilizar una estructura de acero más ligera para las cubiertas planas.

- **CCV**

Los costes del ciclo de vida son más o menos parecidos para todas las soluciones de diseño. La solución de lana de roca es más cara, lo que se puede explicar parcialmente por la estructura de acero más resistente necesaria para soportar el peso del aislante.

5.5 Caso 5: Edificio residencial – Rehabilitación de la fachada con un revestimiento interior

BRE Parte 2: Impacto del aislante sobre construcción existente – Impacto de las restricciones al espesor

Para esta parte, se estudió un caso típico de rehabilitación. La manera considerada para el aislamiento de una fachada existente, fue añadir aislante a la cara interior de los muros exteriores (recubrimiento interno) y se supuso que los propietarios/usuarios del edificio no deseaban perder un valioso espacio interior. Por tanto, el espesor de la capa aislante se limitó a 50 mm. En total, fue necesario aislar una superficie de pared de 134m² en la casa modelo.

La limitación del espesor originó diferentes valores de U para las diferentes soluciones de diseño, basadas en los materiales aislantes de que se tratase. Eso a su vez originó diferentes niveles de consumo energético en la fase de uso del edificio, ofreciendo la solución de PU los mayores ahorros energéticos.

	Solución con PU	Solución con EPS	Solución con lana de roca	Solución con lana de vidrio
Espesor <i>mm</i>	50	50	50	50
Densidad <i>kg/m³</i>	32	30	39	24
Lambda <i>W/mK</i>	0,023	0,034	0,037	0,036
Valor de U <i>W/m²K</i>	0,36	0,47	0,54	0,54
Superficie del muro <i>m²</i>	134	134	134	134

La eficiencia global del edificio modelo resultó menor que la del edificio nuevo estudiado en la parte 1, utilizando los siguientes valores de U:

- Cubierta inclinada: $0,40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Suelo de planta baja: $0,67 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
- Ventanas: $2,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Pérdidas de calor asociadas al puente térmico: valor de "y" = $0,15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

El BRE propuso dos diferentes instalaciones técnicas en el modelo, representativas de las prácticas habituales al utilizar diferentes materiales aislantes. Los materiales de instalación utilizados fueron cemento adhesivo para el PU y EPS, y una estructura de madera para la lana de vidrio y lana de roca (ver la **Figura 22**).

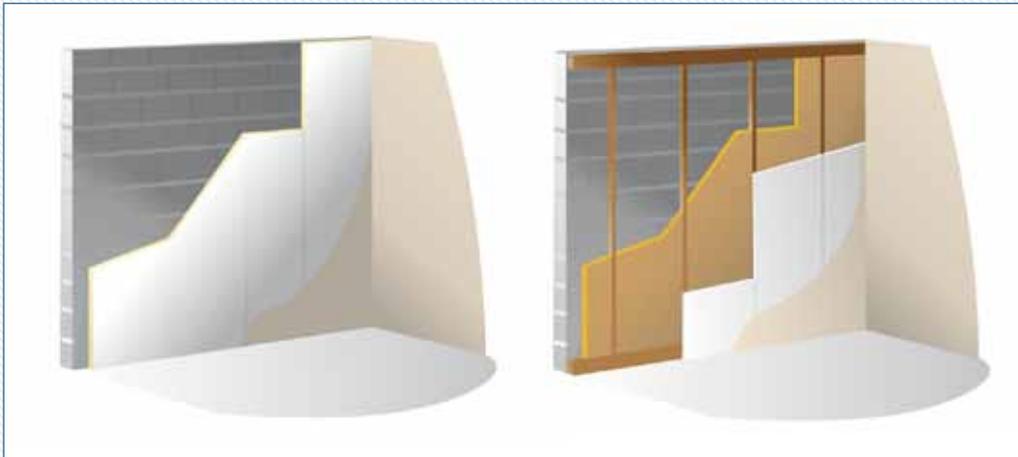


Figura 22: Técnica de instalación para PU y EPS (izquierda) y lana de vidrio y lana de roca (derecha)

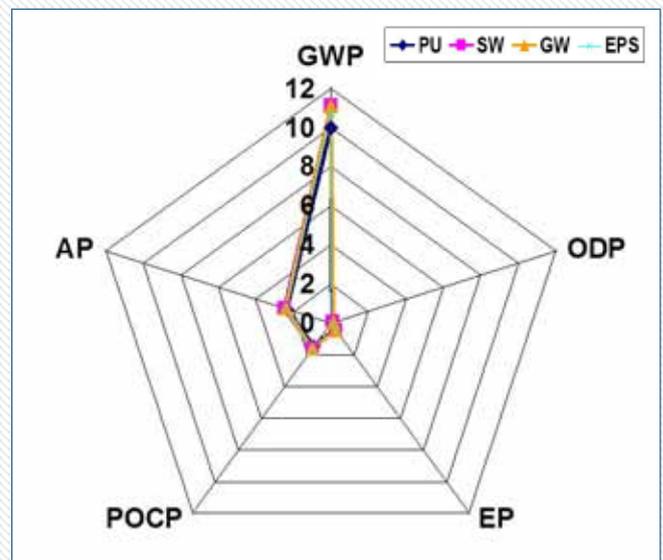
Figura 23: Revestimiento interno – Impactos medioambientales normalizados por categoría de impacto (clima oceánico templado)

Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El ACV estudió no sólo los impactos medioambientales de los materiales de construcción/ aislamiento sino también los impactos causados por el consumo de energía durante la fase de uso del edificio. Eso era necesario, porque diferentes soluciones de aislamiento dan diferentes valores de U, y por lo tanto, diferentes niveles de uso de energía.

Para las tres zonas climáticas, el análisis mostró de nuevo un impacto medioambiental similar para todas las soluciones de diseño contempladas (ver la **Figura 23**).

El estudio contempló también la contribución del uso de la energía, los materiales de revestimiento y el aislante por separado, midiéndolos contra cada indicador medioambiental y expresando los resultados como datos caracterizados, es decir, como porcentaje del valor máximo en cada categoría de impacto (**Figura 24**). Se pueden sacar las conclusiones siguientes:



- Observando los resultados globales, las diferencias entre las diversas soluciones en cualquiera de las categorías de impacto no son relevantes. La variación más importante se puede encontrar en las contribuciones al calentamiento global, que es alrededor de un 9% inferior para la solución con PU si la comparamos con la de peores prestaciones. Sin embargo, desde el punto de vista del ACV, esa variación no es significativa.
- Con la excepción del potencial de acidificación (AP), los materiales de instalación del recubrimiento interno tienen poca o ninguna contribución al impacto total del componente del edificio. El impacto medioambiental de los materiales aislantes es insignificante en todas las categorías de impacto.
- La parte ampliada de la **Figura 24** muestra que, si bien la solución con PU tiene un elevado impacto medioambiental en algunos indicadores, la solución global con PU resulta tener el mismo, o ligeramente inferior, impacto que las otras soluciones. De hecho, eso se debe a que los mayores ahorros energéticos conseguidos por el PU compensan su impacto medioambiental más elevado. Es un buen ejemplo que muestra por qué la selección del material aislante no puede separarse del contexto del ciclo de vida útil del edificio.

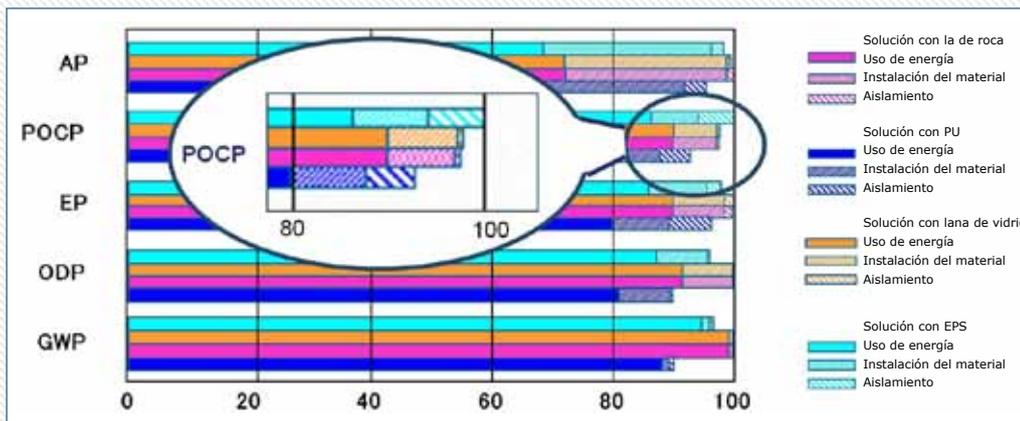
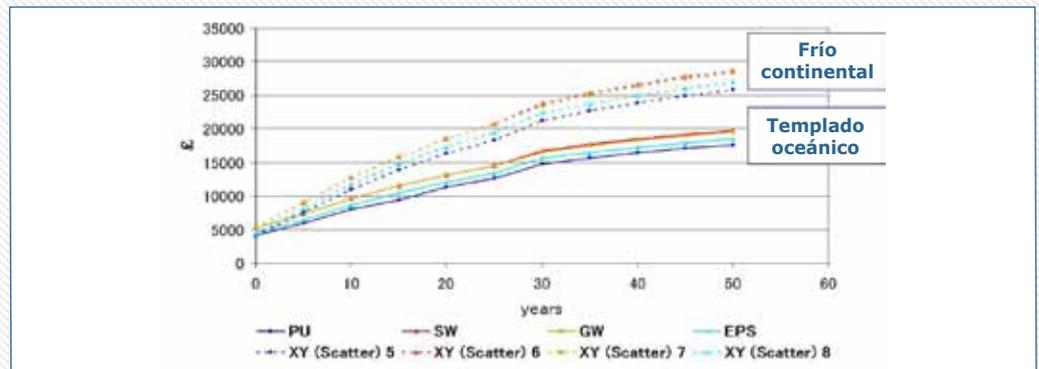


Figura 24: Resultados de ACV expresados como datos caracterizados (relativos al valor máximo de cada categoría de impacto) – Análisis de la contribución energética y material (clima oceánico templado)

Costes del Ciclo de Vida (CCV)

El análisis del CCV del aislamiento de la fachada por el interior mostró resultados similares para las tres zonas climáticas. Como media, a lo largo de los 50 años del ciclo de vida útil, la solución con EPS resultó ser un 8% y la solución con lanas minerales un 11% más caras que la solución con PU (**Figura 25**). La mayor rentabilidad del PU se puede explicar por el mayor ahorro energético conseguido durante la fase de uso del edificio.

Figure 25: CCV de las soluciones de revestimiento interno para dos zonas climáticas (50 años de costes acumulados, 3,5 % de amortización)



Conclusiones para BRE Parte 2:• **ACV**

El análisis mostró que, a nivel de edificio, todas las soluciones aislantes estudiadas mostraron unas prestaciones medioambientales globales muy similares. El mayor ahorro energético conseguido con la solución del PU compensa con creces el mayor impacto del propio material del PU en todos los indicadores de impacto.

• **CCV**

Para todas las soluciones de diseño contempladas en este capítulo, el PU mostró costes del ciclo de vida útil ligeramente inferiores. Las diferencias son demasiado pequeñas para ser generalizadas.

6. Conclusiones

Aunque definidos por terceros independientes y basados en soluciones de diseño utilizadas habitualmente, estos estudios no pueden reflejar todas las alternativas posibles, tanto arquitectónicas como materiales. Por tanto, los resultados no pueden ser extrapolados automáticamente a todos los edificios. Pero los estudios sí aportan algunas conclusiones muy válidas, que se podrían utilizar en trabajos de investigación posteriores:

- El aislante es una contribución clave en una construcción sostenible.
- La selección del material aislante no puede desconectarse del contexto del edificio específico.
- Los materiales aislantes contribuyen sólo un poco a los impactos medioambientales generales del edificio – incluso en el caso de edificios de baja energía. Al compararlos entre sí, los materiales aislantes más habituales muestran unas prestaciones medioambientales muy parecidas cuando se consideran a nivel del edificio a lo largo de todo el ciclo de vida útil.
- La elección de materiales aislantes se debería por tanto basar, en primer lugar, en su capacidad para aportar las prestaciones energéticas más elevadas a nivel de edificio y de mantener unos niveles de prestaciones determinados durante todo el ciclo de vida útil.
- Se pretendió incluir la fibra de madera en ambos estudios. En el estudio del BRE hubo que omitir este material porque no había datos adecuados de ICV disponibles de dominio público. Para el estudio de PWC, se tomaron los EPDs del esquema alemán de EPD. Pero esos EPDs muestran unos potenciales de calentamiento global negativos para el aislante de fibra de madera. Esa interpretación de la función de “sumidero de carbono” de los productos basados en la madera no es compartida por muchos científicos y la práctica en otros países. El tema tiene que ser tratado en la revisión de las normas en el TC350.
- La conductividad térmica y, en algunos casos, la densidad del aislante, son propiedades críticas a tener en cuenta en las evaluaciones de los ACV y CCV, pues definen la intensidad del material y los efectos negativos sobre la estructura del edificio y, por lo tanto, sus prestaciones globales medioambientales y de costes.
- Cuando sea necesario conseguir propiedades mecánicas específicas, como en una cubierta plana, el uso de poliuretano puede acarrear unas prestaciones medioambientales marcadamente mejores.

- Las soluciones con aislante de PU en edificios de baja energía ofrecen unos bajos costes del ciclo de vida útil y pueden resultar más rentables que otras soluciones de aislamiento.
- Futuros trabajos de investigación deberán cuantificar el impacto de mayores huellas de edificio, debido a muros más gruesos, en términos tanto medioambientales como de prestaciones económicas.

7. Glosario de términos

AP	Potencial de acidificación	R-EPS	Cubierta plana con aislante EPS
EP	Potencial de eutrofización	R-PU	Cubierta plana con aislante PU
EPD	Declaración de impacto medioambiental	R-SW	Cubierta plana con aislante SW
EPS	Poliestireno expandido	R-value	Resistencia térmica de un producto aislante (m ² ·K/W)
GW	Lana/fibra de vidrio	SW	Lana/fibra de roca
GWP	Potencial de calentamiento global	U-value	Transmitancia térmica de un edificio (elemento) (m ² ·K/W)
LCA	Análisis de ciclo de vida	WF	Fibra de madera
LCC	Costes del ciclo de vida	W-PU	Fachada de panel en sándwich con núcleo aislante de PU
LCI	Inventario del ciclo de vida	W-SW	Pared de panel en sándwich con núcleo aislante de SW
ODP	Potencial de vaciado del ozono	XPS	Poliestireno extruido
PU	Poliuretano (PUR/PIR)		
POCP	Potencial de creación de ozono fotoquímico		

8. Referencias

- BRE Global: *Análisis medioambiental y económico del ciclo de vida del aislante de poliuretano en edificios de baja energía* (número de informe de cliente 254-665), 2010 (http://www.pu-europe.eu/site/fileadmin/Reports_public/LCA_LCC_PU_Europe.pdf)
- PWC: *Análisis medioambiental y económico de productos aislantes en edificios de baja energía*, 2013 (http://www.pu-europe.eu/site/fileadmin/PU_Europe_files_2013/PU_13-136_PWC_for_PU_Europe_-_Environmental_and_economic_analysis_of_insulation_products_in_low_energy_buildings__May_2013_.pdf)
- VITO para el gobierno Belga: Estudio encargado por el Servicio Público Federal de Salud, Seguridad de la Cadena Alimentaria y Medioambiente (www.health.fgov.be). Informe final LCA histórico – LCA: Proyecto TIM – *Het opstellen van regels, het uitvoeren van levenscyclusanalyses inclusief dataverzameling en het geven van beleidsaanbevelingen m.b.t. vijf niet-hernieuwbare (glaswol, rotswol, PUR, EPS, XPS) en vijf hernieuwbare (schapenwol, papiervlokken, vlasisolatie, houtvezelisolatie, hennepisolatie) thermische isolatiematerialen voor spouwmuren* (Bestek met nummer: DG5/PP/DDL/11032) Tarea 2 – Evaluación del ciclo de vida de los materiales de aislamiento térmico para muros en el contexto de edificación belga

Notas a pie de página:

- [1] EN 15643-1:2008 *Sostenibilidad en la construcción – Evaluación de la sostenibilidad de edificios – Parte 1: Marco General*
- [2] X= valor de entrada, r= tasa de interés o amortización, n= número de años
- [3] BS/ISO 15686-5:2008 *Edificios y activos construidos – Planificación de la vida en servicio – Parte 5: Costes del ciclo de vida*
- [4] Fuente: Estudio encargado por el Servicio Público Federal de Salud, Seguridad de la Cadena Alimentaria y Medioambiente (www.health.fgov.be). Informe final LCA histórico – LCA: Proyecto TIM – *Het opstellen van regels, het uitvoeren van levenscyclusanalyses inclusief dataverzameling en het geven van beleidsaanbevelingen m.b.t. vijf niet-hernieuwbare (glaswol, rotswol, PUR, EPS, XPS) en vijf hernieuwbare (schapenwol, papiervlokken, vlasisolatie, houtvezelisolatie, hennepisolatie) thermische isolatiematerialen voor spouwmuren* (Bestek met nummer: DG5/PP/DDL/11032) Tarea 2 – Evaluación del ciclo de vida de los materiales de aislamiento térmico para muros en el contexto de edificación belga
- [5] Ver la nota al pie de página 4

La información contenida en esta publicación es, hasta donde sabemos, verdadera y exacta, pero cualquier recomendación o sugerencia que pueda haber sido hecha lo ha sido sin garantía, puesto que las condiciones de utilización y la composición de las materias primas están fuera de nuestro control. Además, nada del contenido deberá ser interpretado como una recomendación para utilizar cualquier producto en conflicto con las patentes existentes que cubran cualquier material o su uso.