



ARTÍCULO RES 008



Artículo RES 008

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA COMO HERRAMIENTA PARA EL DISEÑO DE MATERIALES RECICLADOS CASO: REVESTIMIENTO AISLANTE PARA VIVIENDA

Life Cycle Assessment Assessment as a tool for the evaluation of the design of a recycled material design. Case sStudy of an insulation building thermal boardcladding

305

CANETTI ROCÍO y BAZOBERRI JAVIER

Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño. Centro de Investigaciones Proyectuales y Acciones de Diseño Industrial. E-mail: rocio2015canetti@gmail.com; javierbazoberri@gmail.com

Recibido: 20/08/17. Aceptado: 25/05/18

RESUMEN

En la presente investigación se realiza el Análisis de Ciclo de Vida de un material alternativo para aislación térmica de una vivienda. Además de evidenciar las ventajas del uso del papel reciclado, la Huella de Carbono resultante permite visibilizar el impacto negativo en la fase de extracción y transporte de materias primas, y en la fase de producción por consumo energético. Cabe reflexionar sobre las estrategias de diseño que permitan eficientizar aún más este material, ya sea optando por ligantes más limpios que reemplacen los minerales (cemento) o aplicando procesos más limpios.

PALABRAS CLAVE: Evaluación de Impacto Ambiental; aislantes térmicos; diseño de materiales sustentables; reciclaje.

SUMMARY

The aim of this article is to undertake the Life Cycle Assessment (from now on LCA) of an alternative insulation cladding for buildings. The results indicate the advantages of using recycled paper, however, the carbon footprint shows the negative impacts of the life cycle during the extraction and transport phases of the raw materials, as well as during the production phase, mainly through energy use. To conclude, we discuss design strategies that can improve the use of this alternative material, either by replacing the mineral binding materials (i. e. cement) or applying cleaner technologies.

KEY WORDS: Environmental Impact Assessment; insulation cladding; sustainable material design; recycling.

1. INTRODUCCIÓN

La sustentabilidad comprende actualmente problemáticas tanto ambientales (agotamiento de recursos, cambio climático, entre otros.), como de salud (smog, ruido, radiación, etcétera) e, incluso geopolíticas (aumento del consumo, pobreza, conflictos territoriales, otros). Es vital, entonces, encontrar un equilibrio entre la extracción de los recursos y la explotación de la materia prima, donde la satisfacción de las necesidades actuales no perjudique la capacidad de satisfacer las exigencias del futuro (WCED, 1987).

Una de las estrategias para lograr desacelerar el proceso de explotación desmedido de recursos, es mejorar la eficiencia en el uso del material. El reciclaje se constituye como una estrategia para este fin: es el resultado del reprocesamiento de materiales recuperados en la fase del fin de vida de cualquier producto o servicio, reintegrando al ciclo de vida. El reciclaje de materiales se presenta como la forma más efectiva de extraer valor del flujo de los residuos: reduce el consumo de materias primas primarias (virgen), ahorra energía y reduce las emisiones, así como reduce la necesidad de invertir en plantas de incineración y vertederos y crea puestos de trabajo (Ashby 2014). Sin embargo, debe considerarse que para que la cadena de reciclaje sea factible resulta esencial el suministro de material reciclado, en gran volumen, estable y de calidad consistente: esto depende de una infraestructura de reciclaje rentable o, si no es rentable, de una subvención apropiada.

Lo que la mayoría de nosotros vemos como residuos, pueden convertirse en recursos de innovación para el D4S o Diseño para la Sustentabilidad (UNEP, 2006); probablemente, el mayor obstáculo es que la mayoría de los productos no están diseñados para el reciclaje al fin de vida. El siguiente trabajo explora las posibilidades actuales del D4S, a través del estudio de caso de un material aislante para la construcción producido en la Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina. El mismo, se obtiene del reciclaje de papel y cartón en la ciudad (los cuales representan el 24% (Leis, 2015) de los residuos domésticos). Se realizó una evaluación de impacto ambiental del material según la Huella de Carbono, que según la ISO 14067, es la medida de la cantidad (masa) de Dióxido de Carbono (CO₂) y otros Gases de Efecto Invernadero (GEI), emitida por un producto/actividad humana a lo largo de todo su ciclo de vida. Se busca de esta forma, identificar cuantitativamente el desempeño ambiental como factor diferencial que

permita su posible inserción en el sector de la construcción regional resguardando los aspectos socio/ambientales mencionados anteriormente.

2. CONCEPTUALIZACIÓN TEÓRICA

2.1. SUSTENTABILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN: UN ESPACIO DE INNOVACIÓN

307

Los mayores impactos de la vivienda se dan en las fases de extracción de materiales y de uso (debido al gasto energético), de forma que, desde el paradigma de la arquitectura sustentable, los materiales juegan un rol fundamental. Trabajos de Análisis de Ciclo de Vida demuestran que la introducción de productos pasivos -como lo son los aislantes térmicos- mejora sustancialmente el intercambio energético en la vivienda, reduciendo el gasto energético y monetario (ya que se registra hasta un 35% de pérdidas energéticas por deficiente aislación) (Falabella y Stivale, 2011). La importancia de considerar el correcto aislamiento de las viviendas refiere también a impactos en la salud y bienestar de los habitantes (el denominado *comfort*).

El mercado actual de aislantes térmicos para la vivienda presenta una oferta variada (desde fibra de vidrio y rockwool hasta guata de celulosa y paneles de maderas), donde se diferencian productos *tradicionales* (extendidos a nivel internacional, acaparan el mercado local) y *no tradicionales* (cuya producción aún es incipiente o no se presentan en el mercado local como opción). Respecto al perfil ambiental, si bien los productos tradicionales presentan un mejor desempeño en la etapa de uso de la vivienda (mejor aislamiento, con menor espesor, y menor peso), sus impactos en el resto de las etapas son mayores. Los productos no tradicionales, por el contrario, presentan un mejor perfil respecto de la producción y la disposición final, siendo la guata de celulosa la que mejores coeficientes de aislación presenta. Ninguno de los productos se encuentra presente en el mercado nacional, representando un posible nicho para la industria local.

2.2. PROPUESTA DE MATERIAL ALTERNATIVO

Para más información sobre la propuesta, pueden revisarse presentaciones de Canetti (2015; 2016), denominadas “*Aislantes térmicos alternativos para vivienda mínima completa*”, y “*Aislantes térmicos alternativos: diseño de una propuesta material*”. La generación de la

propuesta para el nicho de materiales no tradicionales toma como base la guata de celulosa, debido a sus potencialidades (disponibilidad de materia prima, factibilidad de producción local, capacidad aislante). Este producto fue analizado mediante la Rueda Estratégica, planteada en Canetti (2017), para detectar posibles acciones de diseño; sobre estos resultados se propone una línea de placas para revestimiento interior (Figura 1), con diferentes acabados (texturados, pinturas, estampados, etcétera), y de precio competitivo.

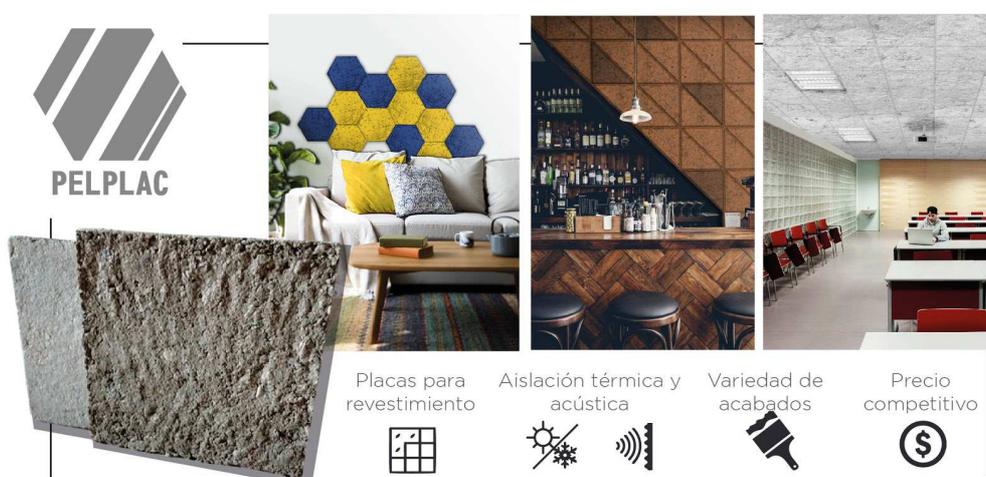


FIGURA 1. PELPLAC, revestimiento aislante térmico. Fuente: Elaboración propia.

Las placas se producen en base a una mezcla de guata de celulosa y mortero cementicio, en las proporciones observadas en la figura 2. El producto presenta diferentes ventajas: 1) Utiliza papel de descarte, de base degradable, disponible en el mercado local; 2) Es factible de procesar localmente, realizando producciones de diferente escala (industrial o semi-industrial), con un precio competitivo; y 3) A diferencia de los materiales aislantes existentes, puede utilizarse como revestimiento en vivienda finalizada, y permite aplicar diversos efectos estéticos.

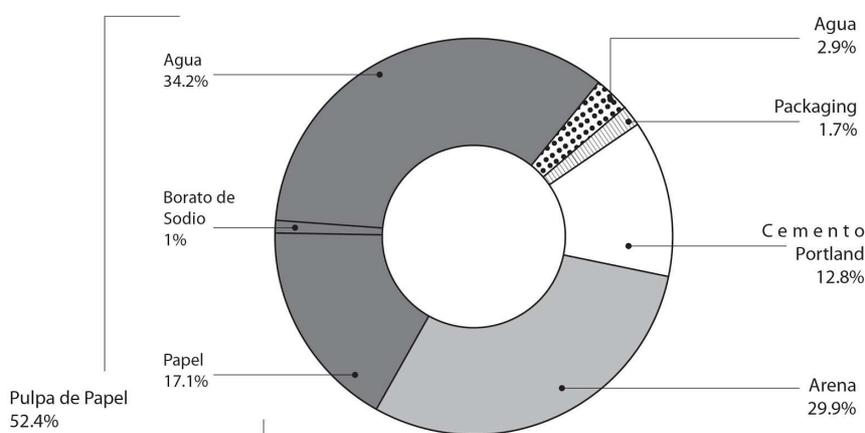


FIGURA 2. Proporciones de cada componente del material aislante. Fuente: Elaboración propia.

3. METODOLOGÍA: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

Para el Análisis de Ciclo de Vida (en adelante ACV) de la nueva propuesta se ha utilizado la metodología indicada en la norma IRAM - ISO 14040. Cuyo alcance establece principalmente el sistema del producto a estudiar, sus subsistemas, la unidad funcional, sus límites, la metodología propia de evaluación de impacto y su interpretación.

En la figura 3 se visualiza la relación que tienen las distintas etapas de análisis de ACV con el proceso productivo. En este caso se analiza desde la extracción de las materias primas hasta la distribución al mercado minorista, donde el análisis se delimita hasta la fase de distribución, a fin de lograr una comparación con materiales similares expuestos de este modo en las bases de datos posteriormente citadas. La lógica de este método parte de analizar las entradas (recursos como materia prima y energía) a partir de una Unidad Funcional (en adelante UF) que define la cuantificación específica según la medida necesaria para el desempeño específico del objeto de estudio. En este sentido, define las salidas determinantes (Huella de Carbono) al medio; en este caso, según KgCO₂-eq que es la medida de la cantidad (masa) de Dióxido de Carbono (CO₂) y otros Gases de Efecto Invernadero (GEI), emitida por un producto.

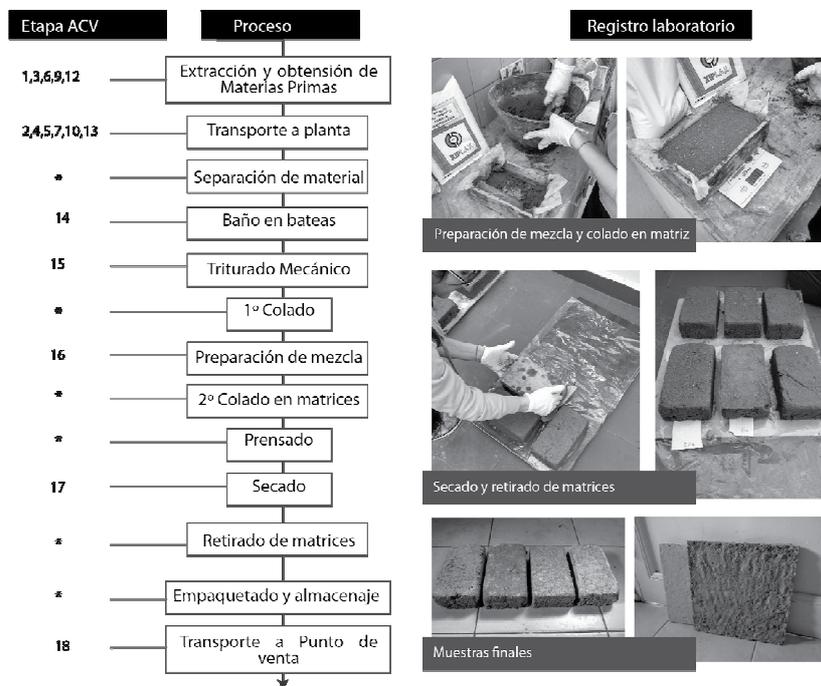


FIGURA 3. Etapas de la producción del material alternativo. Fuente: Elaboración propia.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. INVENTARIO DE ACV

En la tabla 1, se pueden observar todas las entradas, desde la extracción de las materias primas, procesos productivos implicados, hasta packaging y distribución final del producto, representadas en la primera columna. En la segunda columna se detalla la cantidad requerida de cada entrada por unidad de medida sea en Kg, o en Tn.km por UF. Según la ISO 14040, la unidad Tn.Km es una unidad de medida utilizada para determinar el impacto según volumen en desplazado en una cantidad específica de kilómetros.

TABLA 1. Análisis de Inventario, entradas y salidas según Aislante Textil. Fuente: Elaboración propia.

Etapas de Proceso	Cantidad	Unidad	SALIDA KgCO ₂ - eq/UF	% x UF	% x Subsistema
SUBSISTEMA 1 – Entrada Cemento					45 %
1.Extracción Y Obtención Cemento Portland + Transporte Pesado	3,05	Kg	1,92	42 %	
2.Transporte Liviano a fábrica	0,03	Tn.km	0,12	3 %	
SUBSISTEMA 2- Entrada Arena					20 %
3.Extracción y Obtención Arena	7,13	Kg	0,03	1 %	
4.Transporte Pesado de arena a MdP	1,87	Tn.Km	0,60	13 %	
5.Transporte Liviano a fábrica	0,07	Tn.Km	0,28	6 %	
SUBSISTEMA 3 – Entrada Papel					6 %
6.Obtención de Papel Reciclado	4,07	Kg	0,12	3 %	
7.Transporte Liv. Coop. A fábrica	0,03	Tn.Km	0,06	1 %	
8. Utilización de Agua Corriente	8,15	kg	0,004	0 % (Despreciable)	
9.Obtención Borato de Sodio	0,25	Kg	0,05	1%	
10.Transporte Pesado BS a Distrib.	0.11	Tn.Km	0,02	0 % (Despreciable)	

Continuación tabla 1...

Etapas de Proceso	Cantidad	Unidad	SALIDA KgCO ₂ -eq/UF	% x UF	% x Subsistema
SUBSISTEMA 4 – Entrada Agua					0 %
11.Utilizacion Agua	0,69	Kg	0,0003	0,0 % (Despreciable)	
SUBSISTEMA 5 – Entrada Packaging					10 %
12.Construcción Pack	0,34	Kg	0,45	10 %	
13.Transporte distribuidora a fábrica.	0,00289	Tn.Km	0,02	0 %	
PROCESO PRODUCTIVO AISLANTE					18 %
14.Termotanque	0,26 E	kWh	Electricidad = 0,095	2 %	
15.Mezclador Eléctrico	0,21 E	kWh			
16.Mezcladora Trompo	0,01 E	kWh	Gas = 0,7	15%	
17.Horno	2,22 G +0,29 E	kWh			
TRANSPORTE PUNTO DE VENTA					1 %
18.Transporte Liviano	0,03	Tn.Km	0,06	1 %	
CO ₂ -eq TOTAL					
			4,53	100 %	100 %

312

El resultado verificable en la columna “SALIDA” es el producto del CO₂ -eq, dependiendo el recurso, por cantidad y define en esta unidad comparable el impacto de cada etapa. Según valores de impacto de materiales similares, el análisis ha sufrido un recorte referido a las fases de transporte a puntos de venta, y fin de vida, ya que ambas dependen particularmente del contexto donde se comercializa el material. El cálculo de impactos fue generado a partir del

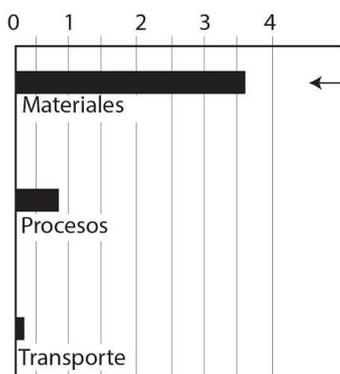
Software SIMAPRO v. 2016, bajo el método ReCiPe según bibliotecas Ecoinvent 3. La Unidad Funcional establecida para realizar el estudio es el comportamiento de un m² de material aislante para lograr una conductividad térmica de 0,075 λ con una vida útil de 10 años. El flujo de referencia determina los medios materiales por el cual se cumple la función y según el caso estudiado el flujo de referencia parte de utilizar 9,9 kg de este textil con una densidad de 495 kg/m³. Las bases de datos utilizadas para la comparación del desempeño ambiental corresponden a bibliotecas Ecoinvent 3 (2017), para el desempeño funcional se ha utilizado folletería correspondiente a las principales empresas proveedoras.

4.2 RESULTADOS ACV

Los resultados del ACV definen, en primer lugar, que la sumatoria de GEI por UF da como resultado una huella de 4,52 KGCO₂-eq. Cabe destacar que tanto este valor como la conductividad térmica del material (0,075 λ) se encuentra dentro de los parámetros normales de los materiales aislantes para construcción: los valores de KGCO₂-eq van desde 1,35 a 7,16, y los de λ entre 0,032 λ a 0,14 λ .

Los procesos que adquieren mayor relevancia son, en un principio, los que intervienen en la fabricación y transporte de materiales: el uso de cemento portland -que interviene en un 42 % del valor total- genera el mayor impacto debido a su extracción y transporte pesado hacia la localidad. Por su parte, la arena (20%), aunque el valor de su extracción no sugiere gran impacto, sí lo genera el transporte pesado y liviano. Se debe tener en cuenta además que la producción del Packaging interviene en un 10% del total (Figura 4).

Impacto negativo según etapas



Impacto negativo desglosado

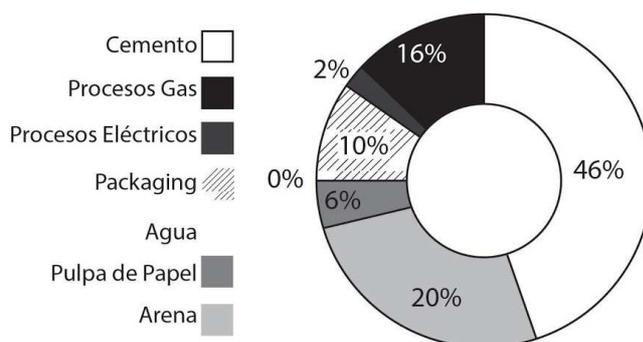


FIGURA 4. Clasificación de Impacto por etapas y por recurso. Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, los procesos productivos comprenden un 15 %, a partir de la utilización de energía calórica con Gas Natural, cuyo fin es acelerar el fraguado de las placas. El transporte que toma sólo el traslado del producto final a puntos de venta tiene un valor desestimable del 1% del total. Cabe aclarar que los transportes individuales de cada material han sido tomados como parte constitutiva del total de cada subsistema, y no sumados en un subsistema aparte: de este modo, en el caso de optar por un sólo material sustitutivo, la fase de transporte no presentará inconsistencias en sus cálculos.

Finalmente, resulta relevante destacar el bajo protagonismo que toma el papel reciclado en el impacto negativo del material, donde sólo representa un 6 % del total. En este caso el mayor factor contaminante se genera mediante el uso de camiones dedicados a la recolección de residuos urbanos.

4.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

El segmento de aislantes térmicos se compone de diversos tipos de productos; pudiendo ordenarlos según su presencia en el mercado y su presentación (Figura 5). En primer término, encontramos a los productos tradicionales, ampliamente extendidos a nivel internacional,

acaparan el mercado local (primer columna *mercado local*); por ejemplo, el poliestireno expandido (EPS), poliuretano (PUR), lana de vidrio, etc. Los no tradicionales (segunda columna, *mercado internacional*) son aquellos de producción incipiente o aún en etapas de investigación, como paneles de desechos textiles, yute o cáñamo. Los más extendidos se aplican en construcción en seco (guata de celulosa, placas constructivas).

Respecto a su presentación, las piezas portantes, fieltros y lanas se colocan durante el proceso de construcción; deben ser colocados entre tabiques o requieren terminaciones superficiales extra. Por el contrario, las placas pueden ser colocadas cuando la vivienda se encuentra en uso (por patologías visibles); aquí el diseño morfológico y superficial de las placas es fundamental.

		Mercado LOCAL		Mercado INTERNACIONAL	
Presentación	PLACAS	-EPS - Antihumedad - Constructivas - Decorativas	Etisol, Mastropor Blotting, Humeplac Durlock Pirka Stone	- Madera - Yute y Cáñamo - Desechos textiles y agroindustriales	Steico, Schneider Productos en investigación, pruebas aún no comerciables
	FIELTROS Y LANAS	- Lana de Poliester - Barrera de vapor - Lana de vidrio - Lana de roca	Isover Isover Isover Acuflex, ThermoRoll	- Celulosa insuflada - Lana de oveja - Lana de algodón	Biohaus; Isofloc, X-floc Higgins, Thermafleecce UltraTouch
	PIEZAS PORTANTES	- Ladrillos - Placas	Retak Durlock CEP-ATAE UBA (no comercial)	- Placas - Bloques	Thermosip, Isocell EconoBlock

FIGURA 5. Segmento de Aislantes Térmicos. Fuente: Elaboración propia

En la figura 6 se realiza una comparación con los principales materiales del segmento (Panel de Yeso, Lana de Vidrio, Lana de Roca y EPS). Salvo los materiales plásticos como el EPS que resulta muy contaminante, o el Panel de Yeso muy poco aislante, los demás materiales como la Lana de Vidrio o Lana de Roca son más eficientes que la propuesta de celulosa.

Sin embargo, cabe destacar que el nuevo material proporciona una menor disipación de los recursos materiales, debido a que rescata del circuito de reciclaje su materia prima esencial que es la pulpa de papel. Por ello, este estudio permite interpretar el rol que el papel y los minerales (por su nivel de impacto ambiental) cumplen en la nueva propuesta. A fines de mejorar su eficiencia se debe estudiar una nueva caracterización del material a partir del ajuste de estos componentes, y así equilibrar la relación entre conductividad térmica e impacto ambiental.

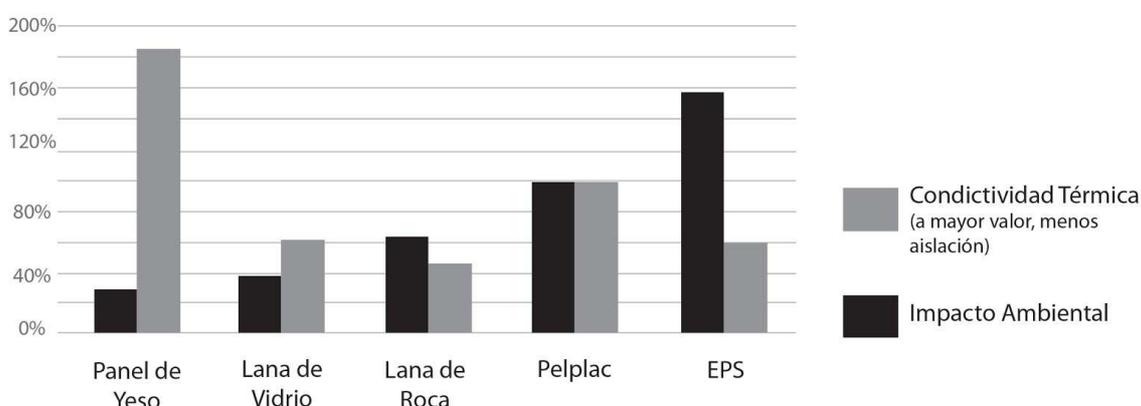


FIGURA 6. Comparación desempeño función y ambiente. Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Previamente, se observó en el mercado de aislantes para la construcción local el faltante de materiales para la aislación no tradicionales. Se realizó una propuesta acorde, bajo lineamientos de D4S, que contempla el reciclaje como estrategia para extraer valor del flujo de los residuos (en este caso, papel). Se obtuvo un material aislante competente, atractivo y factible de producir localmente. Las placas obtenidas utilizan guata de celulosa ligada con mortero cementicio, buscan lograr una capacidad aislante media (entre 0,032 λ a 0,14 λ , considerando otros aislantes) y una mejora en el impacto ambiental (desde la extracción, al punto de venta), mediante la utilización de material de descarte.

Con el fin de corroborar el funcionamiento del producto, se verificó la capacidad aislante mediante un ensayo de conductividad térmica: el material presenta $0,075\lambda$, lo que lo ubica en un rango de mediana aislación.

En este contexto, se buscó determinar el impacto ambiental del material. Para esto, se realizó una evaluación de impacto ambiental según la Huella de Carbono, donde un m^2 de material equivale a $4,52 \text{ KgCO}_2\text{-eq}$.

Con la intención de identificar cuantitativamente el desempeño ambiental -y verificar si éste queda habilitado como factor diferencial para una futura inserción en el sector-, se interpreta el resultado de la Huella de Carbono por Unidad Funcional, y se compara con materiales existentes en el mercado. Se destaca la necesidad de seguir con acciones estratégicas que contemplen las siguientes acciones a corto plazo:

- a. Ampliar el uso del papel reciclado para obtener menor conductividad térmica y disminuir el peso de las placas.
- b. Disminuir el uso de ligantes minerales debido a su alto nivel de contaminación en su extracción y su elevada participación en el peso neto del producto final.
- c. Disminuir el uso de energía calórica para el fraguado de las placas, ensayar energías alternativas ó secado al sol.
- d. Considerar la utilización de un packaging que permita cuidar las zonas críticas del producto fomentando ahorro en el material.
- e. Fomentar la utilización de materiales fabricados en la localidad ó en la región ya que cada transporte implica gasto energético y emisión de CO_2 .

Se reflexiona en este sentido que, para diferenciarse del resto de los productos (placas de yeso, fieltros) con una propuesta de diseño eficiente y ecológica, se debe al menos acercarse a los mínimos indicados en términos de conductividad y/ó de Huella de Carbono de propuestas comerciales.

Por otra parte, es ya sabido que los proyectos sustentables se juegan tanto en dimensiones económicas como sociales y ambientales. Sin embargo, las empresas que producen bajo normativas de calidad y gestión ambiental siguen siendo la minoría a nivel local (Graña *et al.*, 2016). El proyecto PELPLAC -aislantes térmicos- ha sido abordado con una mirada empresarial, poniendo a prueba el análisis de las tres dimensiones de la sustentabilidad.

En el análisis ambiental, en particular, destaca la importancia de las herramientas de análisis cuantitativo. El ACV, por ejemplo, ha resultado positivo en cuanto: 1) permite un acercamiento

más fehaciente a las resoluciones materiales propuestas por los diseñadores en el marco del D4S; 2) provee información valiosa y factible de comparar con otros productos; 3) permite aplicar estrategias para el rediseño de los productos; 4) sirve como base para la obtención de certificaciones sustentables (por ejemplo, el Sello de Empresa B en Argentina). Esto permite a las PyMes diseñar sus productos con mayor precisión, a la vez que las posiciona ante la competencia. Por otra parte, la realización de un ACV confiable y válido requiere: 1) recursos humanos formados; 2) cuantificación exhaustiva de los procesos que componen el producto y 3) acceso a bases de datos específicas. Esto complejiza la situación de las PyMes, principalmente por un aumento de los costos y tiempos de producción y diseño.

Actualmente, se encuentran bajo análisis aspectos sociales y económicos del proyecto PELPLAC. En cuanto a la dimensión social, se realiza un análisis de cadena de valor y de relaciones entre los actores clave (según su nivel de interés y de poder), que se complementa con un análisis de experiencia de usuario (para redefinir aspectos estético-sensoriales de las placas). La dimensión económica se trabaja en conjunto con un grupo de especialistas, con el fin de determinar costos e inversión, mercado, e impulsión.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHBY M.F., y K. JOHNSON. 2014. *Materials and Design*. 3ª Edic. (E-Book). Oxford Butterworth Heinemann. Oxford, England.

ASIS, S., FALABELLA, M.T. y S. STIVALE. 2011. Propuesta de indicadores para la evaluación de la sustentabilidad de políticas habitacionales. *Revista i + a*. En línea: <http://faud.mdp.edu.ar/revistas/index.php/ia/article/view/23/19> [Consultado en: 23/04/2027].

CANETTI R. 2015. *Aislantes térmicos alternativos para vivienda mínima completa*. DISUR. En línea: <http://www.fadu.uba.ar/categoria/208-disur> [Consultado en: 21/05/2027].

CANETTI R. 2016. *Aislantes térmicos alternativos: diseño de una propuesta material*. DISUR. En línea: <http://www.fadu.uba.ar/categoria/208-disur> [Consultado en: 22/05/2027].

CANETTI, R. 2017. *Productos aislantes no tradicionales: un posible aporte desde el diseño marplatense*. IX Congreso Regional de Tecnología de la Arquitectura, Diseño y Tecnología

en la Construcción Sostenible del Ambiente. 16 al 18 de agosto de 2017. UNL, Santa Fe, Argentina. Libro de Resumes 134 p.

DESIGN FOR SUSTAINABILITY. 2006. D4S. Modules. *A practical approach for developing economies* Delft University Technology- UNEP. Germany En línea: <http://www.d4s-de.org/> [Consultado en: 26/05/2027].

GRAÑA F., N. LISERAS, A. BELTRAMINO y L. MAURO. 2016. Caracterización de la industria del Partido de General Pueyrredon: innovación y diversificación productiva como claves para la competitividad. *FCEyS* pp: 24-25.

ISO 14040. 2008. *Gestión ambiental. Análisis de Ciclo de vida. Requisitos y Directrices*. Madrid, España.

LEIS, A. 2015. *Análisis de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en Mar del Plata desde un enfoque económico*. Tesis de Grado. Lic. Economía. FCEyS. UNMDP. Mar de Plata, Argentina.

UNEP. 2006. D4S. Modules. *A practical approach for developing economies* Germany. En línea: en: <http://www.d4s-de.org/> [Consultado en: 13/06/2027].

WCED. 1987. *Our Common Future* (Brundtland Report). World Commission On Environment And Development United Nations. New York, USA.

WILSON, J. 2001. *Handbook of Textile Design: Principles, processes and practice*. Versión electrónica de Woodhead Publishing.