

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CICLO DE VIDA DE ENVOLVENTES LIVIANAS PREFABRICADAS Y PESADAS DE MAMPOSTERÍA PARA VIVIENDAS.

A.P. Arena^{1,2}, M. Basso³, J. Fernandez Llano³

1. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV) - INCIHUSA.- CONICET
Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. 5500 C.C. 131 Mendoza, ARGENTINA, Tel 0261 4287370.
Fax: 0261 4287370.

2. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza
E-mail: aparena@frm.utn.edu.ar

RESUMEN: Se estudian distintas tipologías de cierres perimetrales para la planta alta de una vivienda, tres de ellas conformadas con placas prefabricadas livianas revocadas y aisladas térmicamente, y otra con mampostería revocada y aislada térmicamente. Los tipos y cantidades de materiales utilizados en la construcción de estas tipologías son diferentes, lo que indica que tanto el contenido energético como los impactos ambientales asociados a esos materiales serán diferentes para cada uno. Por otra parte, los valores de transmitancia difieren ligeramente, por lo que la energía de calefacción que se pierde a través de la envolvente edilicia durante el período invernal también será diferente. En este trabajo se estudian las consecuencias ambientales asociadas a esas diferencias, considerando la fase de construcción y de uso. Dado que la localidad presenta un clima frío, no se consideran las pérdidas por acondicionamiento de verano. El estudio se realiza utilizando el Análisis del Ciclo de Vida.. Se investiga también la influencia de diferentes espesores de aislante y de revoque.

Palabras clave: Análisis del Ciclo de Vida, Envolventes de vivienda.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la compleja problemática involucrada por el desarrollo sustentable, en aspectos sociales, económicos y ambientales, cobran particular relevancia aquellos que consideran las relaciones entre el hábitat y la energía. El desarrollo del hábitat, por su escala y permanencia, representa el impacto físico más significativo sobre el ambiente natural. Por otra parte, la energía, es un insumo esencial para la supervivencia de la sociedad actual. El eventual agotamiento de los combustibles fósiles sumado a los impactos ambientales adversos que su uso masivo está causando, plantean la necesidad impostergable de comenzar a implementar estrategias para controlar y eventualmente revertir los procesos de deterioro que se están produciendo. En la búsqueda de alternativas constructivas que presenten menor impacto ambiental, el profesional se encuentra con distintas opciones que puede adoptar en el diseño de sus obras. Sin embargo, no cuenta con información objetiva que le permita decidir por una u otra alternativa, lo que determina que deba guiarse por su intuición o por la praxis más consolidada, prácticas que no siempre conducen a los mejores resultados desde el punto de vista ambiental.

En trabajos anteriores (Arena, de Rosa 1999, Mitchell, Arena 2000, Arena, Basso y Fernández Llano 2001, Arena y de Rosa 2003) se presentaron resultados de distintos componentes, materiales y tecnologías utilizados en el sector edilicio, incluyendo muros dobles de mampostería, cubiertas livianas y pesadas, ventanas de alta eficiencia, ladrillos de arena cemento, etc. Con la intención de avanzar sobre el conocimiento de los impactos ambientales de alternativas de la construcción, se realiza este estudio comparativo, que investiga las consecuencias ambientales asociadas a distintas alternativas de envolventes opacas para vivienda, en particular tabiques livianos y muros tradicionales de mampostería.

CASOS DE ESTUDIO

El caso estudiado es el de una vivienda de construcción en dos plantas con diseño bioclimático. Situada en una Latitud de -33.45, Longitud 70.42 Oeste y Altitud 560 msm con un clima mesotermal con 1919 Grados Día anuales de calefacción (base 18). Los vientos predominantes son del sur-oeste de 16 Km/h para el mes de Junio.

La envolvente de la vivienda es de albañilería revocada en Planta Baja (ladrillo hueco sin aislar), mientras en la Planta Alta se utilizan distintos sistemas: un sistema prefabricado de construcción liviana (ver figura 1), o construcción de mampostería con aislante térmico. La carpintería es de PVC con doble vidrio sin aislación nocturna exterior y una cortina de tela del lado interno. La infiltración se estima en 1 RAH.

¹ Investigador Asistente CONICET

² Secretario de Ciencia, Tecnología y Posgrado UTN-FRM

³ Profesional Principal CONICET

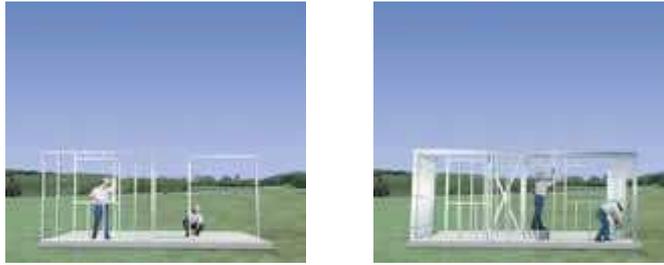


Figura 1: Vista del sistema prefabricado de construcción liviana

Descripción

La vivienda responde a una tipología compacta, cuyas principales dimensiones están indicadas en la Tabla 1

	Total	Panta Alta	Planta Baja
Superficies	141.45	45.04	141.45
Volumen	273.00	93.16	179.83
Ventanas	42.48	8.52	33.96
Area Colectora Norte	22.76	2.8	19.96
Exteriores	Muros PB		58.51
	Tabiques PA	40.01	

Tabla 1. Principales dimensiones de la vivienda estudiada

Se evalúan distintas alternativas de construcción para la planta alta, de modo de encontrar aquella que produce el mínimo impacto ambiental, considerando los materiales utilizados y la energía involucrada en el mantenimiento de condiciones de confort durante el periodo invernal. No se modifica la composición del muro perimetral de P.B., que presenta un valor de $K = 1.9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$, techos $K = 0.472 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ y ventanas $K = 1.9 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. Las alternativas constructivas tomadas en consideración son:

CASO 1: mortero cemento 25mm, cámara aire 40mm, poliestireno expandido 50mm, placa yeso-cartón 15mm, con un $K = 0.62 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. La placa de yeso cartón consiste básicamente en un núcleo de yeso bihidratado con 1 lámina de cada lado de papel celulosa. La figura 2 muestra un detalle del tabique utilizado.

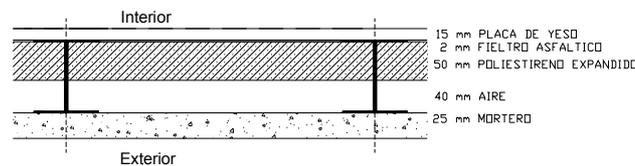


Figura 2. Detalle del tabique perimetral de P.A., Caso 1

CASO 2: mortero cemento 25mm, poliestireno expandido 90mm, placa yeso-cartón 15mm, con un $K = 0.393 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. El esquema es idéntico al de la Figura 2, modificándose los espesores de los componentes.

CASO 3: mortero cemento 30mm, cámara aire 40mm, poliestireno expandido 30mm, placa yeso-cartón 15mm, con un $K = 0.868 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$. El esquema es idéntico al de la Figura 2, modificándose los espesores de los componentes.

Los casos 1, 2 y 3 requieren del uso de perfiles de acero de 90x38x10x8,5mm para su estructura.

CASO 4: mortero cemento 25mm, ladrillo hueco 140mm, poliestireno expandido 50mm, mortero cemento 25mm, con un $K = 0.592 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

METODOLOGIA

Para la evaluación ambiental se utiliza la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), definido según la norma ISO 14040, como una *recopilación y evaluación de todas las entradas, salidas e impactos ambientales potenciales de un sistema producto durante toda su vida útil (ISO 1997)*. Se consideran todos los flujos de materia y de energía que intervienen durante las etapas de:

- fabricación, remontando el análisis desde la extracción de materia prima del ambiente, el transporte, el montaje;
- puesta en obra (construcción);
- operación y el mantenimiento;

- el desmantelamiento y el tratamiento de los residuos al final de la vida útil, lo que puede incluir el reciclaje de los materiales, su uso en otros procesos industriales, el aprovechamiento energético de los materiales, etc.

Este enfoque holístico contempla todos los impactos ambientales en un marco consistente, sin distinguir el momento y el lugar donde se han producido, permite evitar la implementación de acciones tendientes a mejorar un aspecto ambiental, empeorando otro, o desplazándolo en el tiempo o en el espacio.

Las etapas de un ACV, descritas en la norma ISO 14.040, son:

- Definición de objetivos y alcance
- Inventario
- Evaluación de Impactos
- Interpretación.

Una descripción sobre las aplicaciones del ACV en el sector edificación puede encontrarse en Arena 1999.

DEFINICIÓN DEL SISTEMA

La Unidad Funcional que se utiliza en este estudio es: *el impacto ambiental asociado a la construcción y uso de 1 m² de tabique durante 1 año, comprendiendo las pérdidas de energía para calefacción que se producen por esa superficie de tabique durante el período invernal para la localidad considerada.*

De acuerdo a esta definición, en el estudio se incluirá el consumo de recursos naturales y las emisiones producidas durante la extracción de la materia prima y la fabricación de los materiales empleados en las tabiques analizados, así como su transporte desde el lugar de origen hasta la ubicación de la vivienda. No se tomarán en cuenta en cambio los procesos secundarios (por ejemplo materiales y procesos utilizados para la construcción de los aparatos productivos que soportan la elaboración del cemento, el hierro, etc.). Única excepción la constituyen los flujos energéticos, para los cuales se considera su eficiencia de producción y conversión. Para el caso de estudio, sólo se considerarán las tres primeras fases del ciclo de vida de las alternativas, ya que la fase de fin de vida requiere información que no está sistematizada.

El consumo energético por calefacción asociado a cada uno de los casos se calculó mediante el método de la Relación Carga-Colector (RCC) del LANL (Balcomb et al, 1983), considerando las transmitancias de los distintos tipos de tabiques, sin considerar otros componentes (cubiertas, pisos, ventanas, etc.) ya que se mantienen invariables.

RESULTADOS OBTENIDOS

Las Fracciones de Ahorro Solar (FAS) y Energía Auxiliar (MWh / año) calculadas para la vivienda con las distintas alternativas constructivas se detallan en la Tabla 2. Los cálculos se realizaron teniendo en cuenta las pérdidas totales de la vivienda (PB y PA) con las transmitancias de los distintos tipos de tabiques (PA) y de los elementos comunes para las alternativas consideradas (cubiertas, pisos, ventanas, etc.). Sin embargo, para el ACV no se tuvieron en cuenta estos últimos ya que se mantienen invariables en todos los casos.

	FAS	Energ.Aux. MWh/año
CASO 1	47.73	10.58
CASO 2	48.50	10.13
CASO 3	46.88	11.07
CASO 4	47.82	10.52

Tabla 2. Valores de FAS y Energía Auxiliar calculada para cada una de las alternativas

En la Tabla 2 se muestran valores de energía auxiliar similares a pesar de las diferentes transmitancias para la PA indicadas en los 4 casos analizados. Esto se produce por la gran diferencia entre: volúmenes de PB (66%) y PA (34%), superficies expuestas de muros PB (68%) y tabiques PA (32%) y superficies de ventanas de PB (80%) y PA (20%). De esto se deduce que el mayor consumo de energía auxiliar se produce en la PB, en donde las transmitancias son comunes para los 4 casos.

El Inventario obtenido del ACV de los tabiques constituye una lista de 497 entradas para cada alternativa, incluyendo 80 materias primas, cerca de 200 emisiones al aire, algo menos al agua, y 20 al suelo, todas presentes en distintas cantidades en cada una de ellas. Esto hace inviable decidir cuál es la mejor a partir de estos resultados sin procesar, por lo que son agrupados en función de las categorías de impacto que producen (por ejemplo, calentamiento global, acidificación, etc). La figura 3 muestra la comparación entre los impactos producidos por cada alternativa en estas categorías.

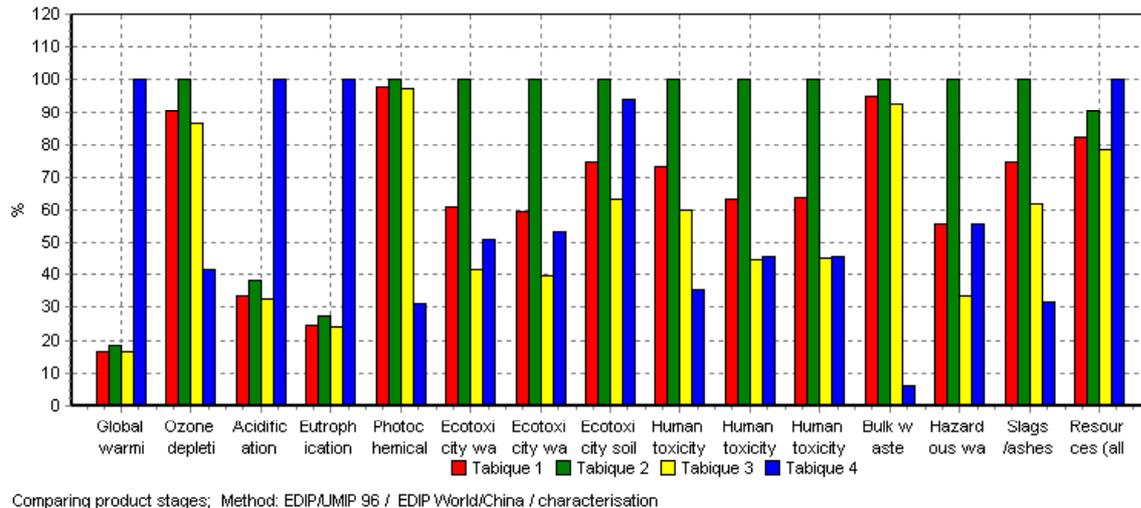


Figura 3. Impactos producidos por cada alternativa

Los impactos han sido calculados como potenciales, dado que las emisiones se producen en distintos lugares y momentos, lo que requeriría un conocimiento detallado de las características del sitio de donde se producen esas emisiones para poder calcular impactos reales.

Como se observa en la figura 3, en 11 categorías el tabique 2 presenta mayores impactos que sus competidores, debido principalmente al mayor espesor de material aislante. El Tabique 4 presenta mayores impactos en 4 categorías. Dado que este gráfico es elaborado comparando entre sí los impactos de los cuatro tabiques al interno de cada categoría, no nos puede informar acerca de la relevancia de un impacto sobre otro. Para tener información que muestre la relevancia entre distintos impactos, se realiza una normalización y ponderación, cuyos resultados se muestran en la Figura N° 4.

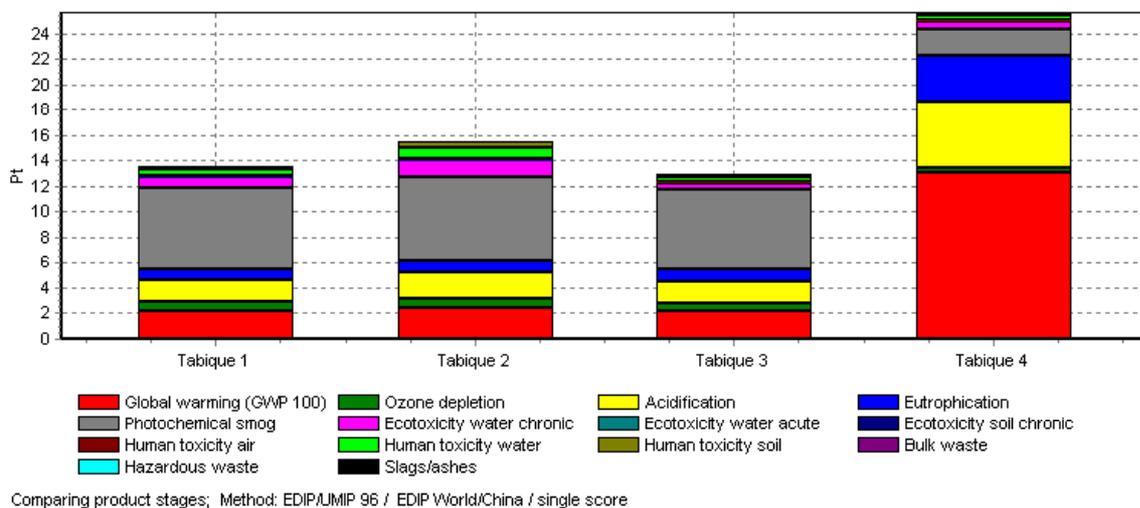


Figura N° 4. Resultados normalizados sin considerar fase de uso

En la Figura N° 4 se observa claramente que si bien el Tabique N° 2 es más impactante que los 1 y 3. Evidentemente, el tabique N° 2 al tener mayor espesor aislante produce más impactos, y se espera que esto redunde en beneficios ambientales durante la etapa de uso. El N°4 presenta magnitudes notablemente superiores a los tres primeros. El potencial de calentamiento global es el impacto que resulta más relevante, y su origen está en la fabricación de los ladrillos cerámicos y del cemento utilizado en el mortero de asiento y de revoque.

La Figura N° 5 muestra los impactos de los cuatro tabiques considerando los 25 años de pérdidas de energía por calefacción. Esta figura permite observar el balance entre los impactos asociados a la construcción de los tabiques, y aquellos correspondientes a la etapa de uso.

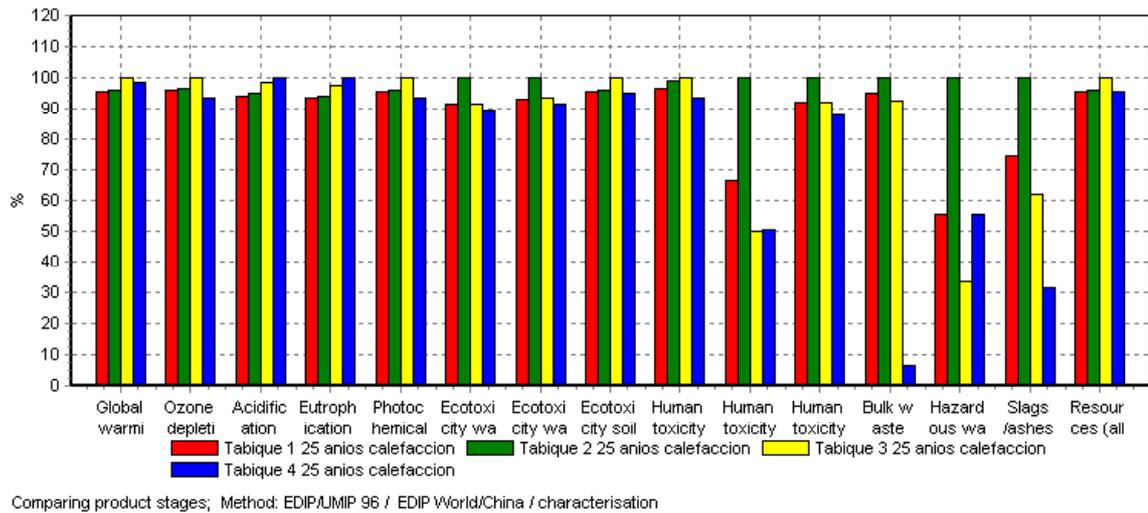


Figura N° 5. Impactos producidos por cada alternativa incluyendo 25 años de uso

Si se consideran 25 años de calefacción, las alternativas realizadas con los tabiques livianos presentan en general impactos parejos, excepto el tabique 2 que presenta más impactos en las categorías ecotoxicidad en agua, toxicidad humana, residuos, residuos peligrosos y cenizas, debido fundamentalmente al mayor espesor de aislante. Precisamente por este motivo el tabique 4 presenta menor contribución al calentamiento global. El tabique 3 (que presenta menos espesor) contribuye más al calentamiento global, adelgazamiento de la capa de ozono, ozono fotoquímico, ecotoxicidad en suelo, toxicidad humana y uso de recursos. No obstante, el gráfico indicaría que el espesor de aislante de este tabique está lejos del óptimo, ya que la diferencia del potencial de calentamiento global con las otras alternativas es mínima, mientras que las diferencias de los potenciales en los que este tabique resulta más contaminante son importantes. El tabique 4 muestra ahora ventajas respecto de los otros, al presentar menos impactos en las categorías de toxicidad humana, residuos y cenizas.

Para investigar los impactos de mayor relevancia para cada tabique se hizo una normalización de los resultados de la Evaluación de Impactos, relacionándolas con los valores promedio del nivel mundial y una ponderación de modo de obtener un único valor por categoría. La figura 6 muestra los resultados obtenidos.

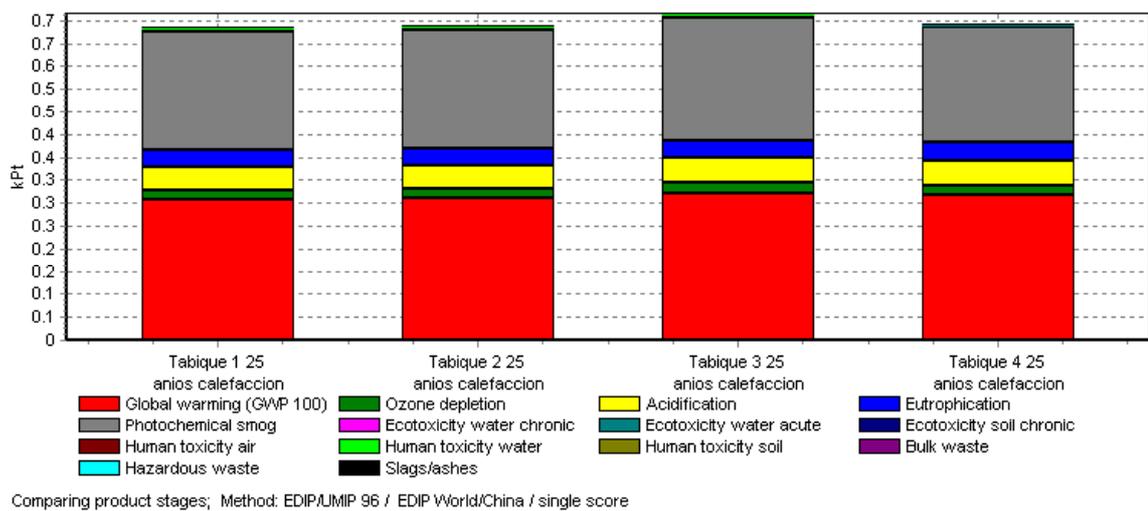


Figura 6. Resultados normalizados y ponderados

Los perfiles ilustrados incluyen tanto la fase de construcción como de uso. Se observa, comparando las figuras 4 y 6, que la inclusión de los impactos asociados a las pérdidas de energía por calefacción durante los 25 años de vida útil hacen perder relevancia a las diferencias iniciales debidas a la fabricación de los distintos tabiques. La figura n° 7 ilustra la contribución en las distintas fases, mostrando la diferencia de impactos entre las fases de uso y de fabricación. Esta figura, si bien corresponde al tabique N° 3, es representativo de todos los casos.

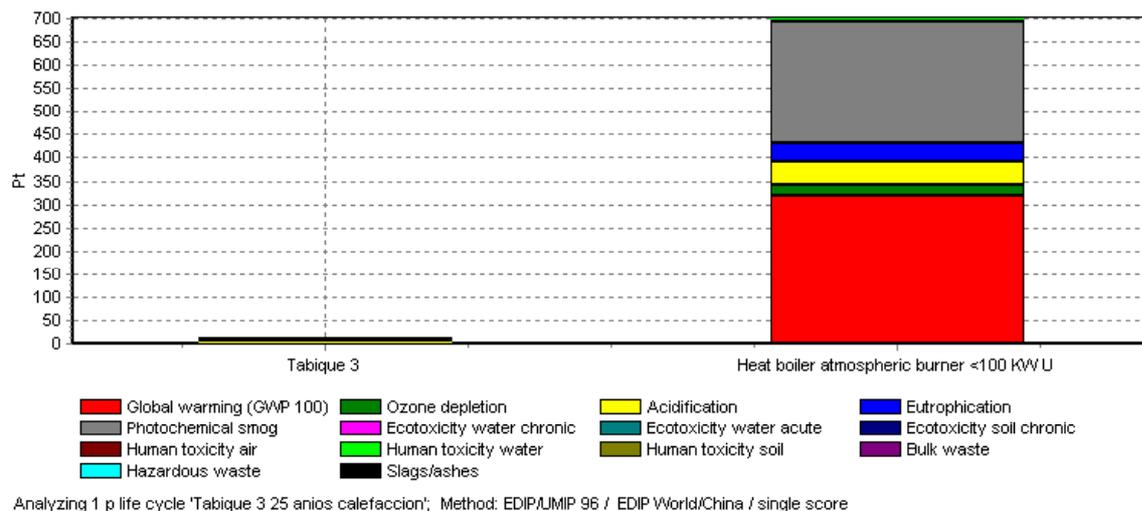


Figura N° 7. comparación de impactos en las distintas fases del ciclo de vida

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran las diferencias de impactos ambientales producidos por la fabricación de diferentes tipos de envoltentes. Estas diferencias se ven muy atenuadas cuando se incluye la fase de uso en el estudio, ya que las pérdidas por calefacción son semejantes en los distintos casos analizados, y de gran magnitud.

Es importante tener en cuenta que el método de cálculo utilizado no evidencia las ventajas determinadas por los muros con buena inercia térmica, las que aumentarían la ventaja a favor del tabique 4. Por otra parte, no se ha considerado en este estudio las posibles diferencias estructurales de la vivienda (fundaciones y columnas) que pueden surgir por el diferente peso que debe soportar en uno y otro caso.

ABSTRACT

Different alternatives for external walls in the first store of a dwelling are evaluated from the environmental viewpoint using Life Cycle Assessment as a tool. Three of them are made up of light pre-built boards, and the other one of traditional masonry. The types and amount of materials which constitute these alternatives are different, and so are the associated environmental impacts. The environmental consequences of using each alternative, according to the different materials used and also the differences in thermal properties, which affect the energy balance of the dwelling during the heating season, are studied in this work. Due to the climatic conditions of the site, mechanical cooling is not frequently used, and accordingly their related energy consumptions have not been considered.

Key words: Life Cycle Assessment, dwellings, walls, alternative materials.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arena, A. P. (1999). Un instrumento para el análisis y evaluación ambiental de productos y tecnologías. El análisis del ciclo de vida. II –Adecuación para el sector edilicio. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 3, N° 2.
- ISO (1997) - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework - EN ISO 14040.
- Arena, A. P., de Rosa, C. (1999). Un instrumento para el análisis y evaluación ambiental de productos y tecnologías. El análisis del ciclo de Vida. III - Aplicación: Aislantes térmicos en muros de escuelas rurales en regiones áridas andinas Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Volumen 3, N° 2, Año 1999. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente.
- Arena, A. P., de Rosa, C. (2003). Life Cycle Assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza - Argentina. Building and Environment. The International Journal of Building Science and its Applications. Vol 38, N° 2, pp 359-368. Editor Professor E.H. Mathews.
- Arena, A.P. (2005). Life cycle environmental and economic assessment of high-performance windows used in typical houses in Andean arid regions of western Argentina. Proceedings of ECOS 2005, the 18th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation, and Environmental Impact of Energy Systems. Trondheim, Norway. June 20–22, 2005
- Arena A. P., M. Basso , Fernandez Llano J. (2001) Análisis comparativo del ciclo de vida de cubiertas alternativas en viviendas residenciales en Mendoza (Argentina). Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Revista de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. Vol 5., año 2001. ISSN 0329-5184.
- Balcomb, J.D.et al. (1983). Passive Solar Design Handbook..ASES. Boulder, Co. USA.