

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CICLO DE VIDA DE CUBIERTAS ALTERNATIVAS UTILIZADAS EN VIVIENDAS RESIDENCIALES EN MENDOZA (ARGENTINA).

A.P. Arena¹, M. Basso², J. Fernandez Llano³.

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. INCIHUSA. Cricyt (CONICET)
Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín. 5500 Mendoza. Tel 0261 4287370. Fax: 0261 4287370.
E-mail: aparena@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN Existen dos tipologías tecnológicas, cuya difusión es usual para el diseño de cubiertas de viviendas en la provincia de Mendoza, que son las cubiertas de losa de H^oA^o (pesadas), y las cubiertas de madera (livianas). En este trabajo se estudian las consecuencias ambientales asociadas a la distinta composición de estas cubiertas, contemplando los materiales que son requeridos para construirlas, incluyendo eventuales diferencias de sus propiedades térmicas que puedan influir sobre el balance térmico invernal de la vivienda que cubren, las que repercuten sobre el consumo energético requerido para obtener condiciones de confort térmico. El caso estudiado corresponde a una vivienda construida en el Barrio Arroyo Claro, en el departamento de Tunuyán. La herramienta utilizada para obtener información objetiva acerca del impacto ambiental derivado de la adopción de las dos tipologías consideradas, es el Análisis del Ciclo de Vida. Se investiga además los posibles beneficios ambientales asociados al uso de una capa aislante de 10 cm de poliestireno expandido sobre estas cubiertas, en lugar de los 5 cm de lana de vidrio que clásicamente se adopta en gran parte de las construcciones locales.

Palabras clave: Vivienda, cubiertas, materiales, Análisis del Ciclo de Vida.

INTRODUCCIÓN

El sector edilicio consume una buena porción de los recursos naturales, incluyendo los combustibles fósiles, utilizados anualmente por el hombre moderno, y es responsable así mismo de gran parte de los residuos y emisiones liberadas. Estos consumos y emisiones constituyen en definitiva un impacto sobre el ambiente, el cual se produce durante todas las etapas del ciclo de vida de los edificios, es decir durante la extracción y producción de los materiales, la construcción del edificio, su uso durante toda su vida útil, y el fin de su vida, que puede estar constituido por una o varias de las siguientes alternativas: demolición o desmantelamiento, recuperación de los materiales, re-utilización, reciclado y disposición final en una descarga municipal o clandestina.

A partir de las dos grandes crisis energéticas del 73 y el 79 la preocupación se orientó principalmente a reducir los consumos energéticos durante el uso de los edificios, mejorando las aislaciones térmicas, las eficiencias de los artefactos transformadores de energía, los criterios de diseño, etc. De este modo se disminuyó no sólo el consumo de recursos energéticos, sino también las emisiones originadas durante su combustión. Sin embargo, poca o nula atención se prestó a las consecuencias ambientales asociadas con la fase de construcción de los edificios, y a la carga ambiental asociada a los materiales y productos utilizados, así como a los efectos producidos al final de la vida útil de los edificios.

Recién a finales del siglo pasado se comenzó a concebir productos industriales contemplando todas las fases de su ciclo de vida, ya que en cada una de ellas se producían consumos de recursos y emisiones nocivas a la atmósfera, a los medios acuáticos y a la tierra. Esta nueva concepción se extendió a todos los sectores económicos, incluyendo los servicios y el sector edilicio, y se han obtenido notables desarrollos en un período de tiempo muy corto.

Sobre la línea de este desarrollo se realizó este estudio, que analiza en modo comparativo las consecuencias ambientales asociadas a cubiertas ampliamente utilizadas en viviendas residenciales en la provincia de Mendoza.

EL CASO ANALIZADO

La vivienda seleccionada para el estudio forma parte de una experiencia realizada en Mendoza por esta UID sobre la "solarización" de dos viviendas económicas de la operatoria FONAVI, construidas por el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV), dentro de un conjunto de 100 viviendas en el Barrio Arroyo Claro, en el departamento de Tunuyán. Dicha experiencia permitió evaluar la efectividad económica de las estrategias de conservación de energía y de los sistemas solares pasivos implementados, para el clima de la localidad (2129 GD de calefacción). El proyecto de vivienda solar fue realizado introduciendo modificaciones mínimas al diseño original del IPV, que presentaba buenas características de adaptabilidad en la configuración, en los materiales y en su orientación. En tal sentido puede asimilarse más a un "retrofit" que a un proyecto totalmente nuevo. La configuración general es idéntica, al igual que su superficie en planta con sus pares no solares (Fig.1)

¹ Becario Postdoctoral CONICET

² Profesional principal CONICET

³ Profesional principal CONICET

DESCRIPCIÓN

La vivienda responde a una tipología compacta, con su lado mayor orientado en sentido N-S y esta apareada en su muro oeste a una vivienda convencional. Consta de 3 dormitorios, estar, cocina comedor y baño. Sus componentes tecnológicos principales son: muros macizos de ladrillón de 18 cm, losa de H^ºA^º de 10cm, carpinterías con marcos de chapa y hojas de madera de pino. Los sistemas solares utilizados fueron: ganancia solar directa y muros acumuladores.

La modificación realizada en su diseño para solarizarla fue: muro Trombe en 2 dormitorios y ganancia solar directa en el estar y espacios al Sur. El beneficio de la ganancia solar para estos últimos fue obtenido por diferencia de techos. Los materiales de sus componentes constructivos son los propuestos por el IPV para las FONAVI.

Las medidas de conservación implementadas fueron: Aislación térmica de poliestireno expandido en cubiertas, muros exteriores y fundaciones. En las primeras se le adicionaron 5 cm quedando un espesor de 10 cm y en los otros dos componentes se colocaron 7.5 cm. En carpinterías exteriores hojas de doble contacto, ventanas al norte y muro acumulador: un vidrio y al sur dos vidrios. Protecciones exteriores: cortinas de enrollar de PVC.

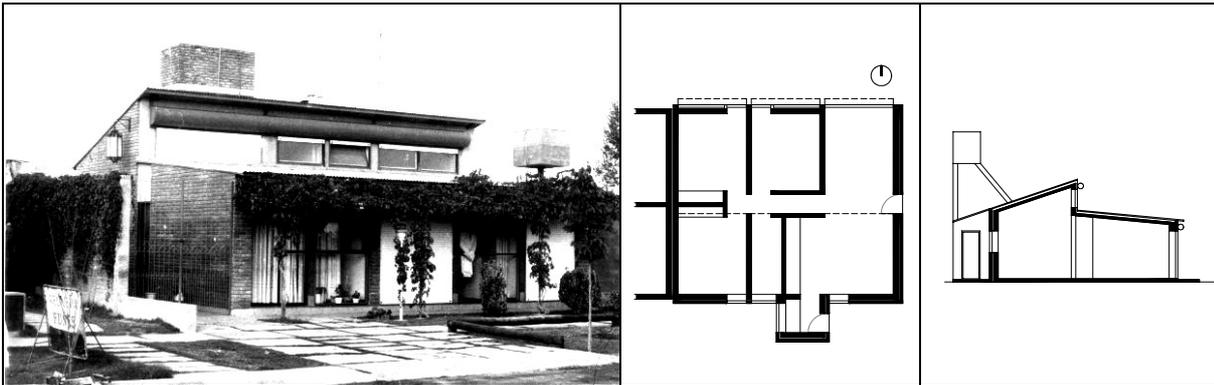
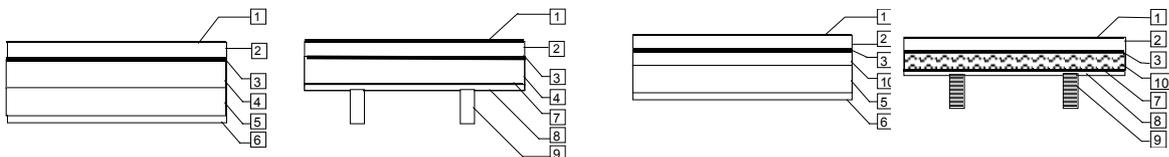


Figura 1: Vivienda analizada: Fotografía de la Fachada Norte, Planta y Corte transversal

Sobre este esquema de vivienda se consideran dos tecnologías alternativas de construcción de cubiertas: pesada (losa de H^ºA^º), aislada con 10 cm de poliestireno expandido, y la cubierta liviana (madera) aislada con el mismo aislante y espesor. Se analiza también el caso de la cubierta liviana aislada con 5 cm de lana de vidrio, frecuentemente adoptado en la región. Una representación esquemática de los casos analizados se presenta en la figura 2.



Pesado Poliest. Expandido

Liviano Poliest. Expandido

Pesado Lana de Vidrio

Liviano Lana de Vidrio

1- Chapa trapezoidal 2- Cámara de aire 3- Membrana asfáltica 4- Poliestireno expandido 5- Losa de H^ºA^º 6- Yeso
7- Polietileno 8- Machimbre de pino 9- Correa de pino 10- Lana de vidrio

Figura 2. Esquema de las cubiertas analizadas

METODOLOGIA

Para llevar a cabo la evaluación del impacto ambiental de las tecnologías comparadas se utilizó el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Este método goza de gran aceptación entre la comunidad científica para llevar a cabo evaluaciones de impacto ambiental de productos, sistemas o servicios, y permite realizar comparaciones objetivas considerando todas las fases que un sistema sigue durante su vida útil. De acuerdo con la norma ISO 14040, el ACV se define como una *recopilación y evaluación de todas las entradas, salidas e impactos ambientales potenciales de un sistema producto durante toda su vida útil*. Los flujos de materia y de energía consumidos y emitidos en los distintos momentos de la vida útil del sistema considerado intervienen durante:

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

LA DEFINICIÓN DEL SISTEMA

Esta primera etapa del ACV determina fuertemente los resultados obtenidos cuando se comparan proyectos alternativos. La Unidad Funcional que se utiliza en este estudio se define como *el impacto ambiental asociado a la construcción y uso de 1 m² de cubierta de una vivienda, considerada con 50 años de vida útil, comprendiendo las pérdidas de energía para calefacción que se producen por esa superficie de cubierta durante los períodos invernales 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 cubiertas analizadas (por ejemplo cemento, hierro, madera, material aislante, etc.), 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. Por último, dado que no existe en la actualidad en la Provincia de Mendoza una estructura organizada para la recuperación, reciclado y/o reuso de los materiales provenientes de la demolición de edificios (ni para otros sectores económicos), esta fase no será tenida en cuenta.

El consumo energético por calefacción asociado a cada uno de los casos se calculó mediante el uso de las trasmisancias de los distintos tipos de techos sin considerar otros componentes (muros, pisos, ventanas, etc.) ya que se mantienen invariables. Los datos climáticos utilizados corresponden al lugar de emplazamiento (2129 GD base 18). Este consumo energético no tiene en cuenta la inercia que podría mejorar la respuesta térmica de los techos pesados frente a los livianos. Esta inercia fue evaluada independientemente mediante el uso del indicador Atraso Térmico que representa el tiempo transcurrido entre los momentos en que se produce la máxima temperatura exterior y la interior. El Atraso Térmico es: Techo Pesado con poliestireno 14,86 hs y con lana de vidrio 12,27 hs. Techo Liviano con poliestireno 6,5 hs y 3,8 hs para la lana de vidrio.

RESULTADOS OBTENIDOS

Un indicador tosco del impacto ambiental de cada cubierta analizada (figura 2) está constituido por la cantidad de materia que tienen incorporada. Este indicador, como esperado, favorece ampliamente a la cubierta liviana, casi por definición, ya que su peso es casi 10 veces menor que el de la cubierta pesada. Esto es obviamente un indicador limitado, ya que no contempla el consumo de energía requerido para la fabricación de esos materiales, ni los impactos ambientales asociados a cada uno de ellos. Por ejemplo, en el caso de la cubierta pesada, de los 239 kg de peso por m² que posee, casi el 80 % se debe a la arena y el ripio, materiales que en la región se encuentran disponibles en grandes cantidades y con pequeño impacto asociado, y sólo el 20 % restante se origina en materiales de mayor impacto como son el cemento (12 %) o hierro (2 %). Por este motivo se adopta el Análisis de Ciclo de Vida como instrumento para realizar la evaluación, ya que en lugar de contemplar la cantidad de materiales incluida en el producto analizado, analiza la cantidad, calidad, la energía, y las emisiones producidas para obtener los materiales que lo conforman, fabricarlo, utilizarlo y removerlo al final de su vida útil.

Los resultados obtenidos de la etapa de Inventario del ACV constituyen una gran cantidad de datos sobre materiales y energía consumida y efluentes producidos, cuya extensión y las unidades distintas que poseen hace difícil su interpretación. Por este motivo los resultados se han agrupado según la categoría de impacto que producen, para lo cual se utilizan factores de impacto que relacionan el efecto que cada sustancia produce sobre la o las categorías de impacto en las que intervienen. De este modo se obtiene un número más reducido de resultados, expresados en una unidad característica para cada impacto (por ejemplo kg de CO₂ en la categoría Calentamiento Global). Esto se conoce como la etapa de Evaluación de Impactos del ACV. Aún ahora, las distintas categorías de impacto poseen unidades distintas, lo que imposibilita la representación en un gráfico con una única escala. Para resolver este problema, y obtener unidades comparables, se realizó una etapa de normalización de los resultados de la Evaluación de Impactos, para lo cual se adoptó el método de normalización de la persona equivalente, que relaciona un determinado impacto ambiental con el valor promedio de ese impacto en un cierto nivel regional (por ejemplo mundial, continental, por país o a nivel local) por cada habitante de esa región (Wenzel et al. 1997). Dado que no existen datos sobre emisiones por habitante para la Argentina para todas las categorías exploradas, se han utilizado factores de normalización correspondientes a la situación europea. Los resultados han sido expresados en millonésimas de persona equivalente. Si bien esta elección relativiza los resultados absolutos obtenidos para la situación de Mendoza, los resultados mantienen su validez para los efectos de comparación que se persigue en este trabajo.

En la figura 3 se representan los perfiles ambientales correspondientes a 1 m² de cubierta, para las dos primeras tipologías consideradas, es decir, para las cubiertas liviana y pesada con aislación de 10 cm de Poliestireno expandido, considerando desde la extracción de la materia prima hasta la instalación de las cubiertas. Para la obtención de los resultados reportados en esa figura se han incluido en el análisis solamente los materiales que no participan en igual calidad o cantidad en las dos estructuras de cubierta comparadas, por lo que se excluyen del análisis aquellos que son exactamente coincidentes, es decir la capa de aislante de Poliestireno Expandido, la membrana asfáltica, y la chapa metálica trapezoidal, ya que su contribución al impacto ambiental será exactamente la misma en ambas tipologías, y en la comparación su influencia se anulará. Se observa que el perfil ambiental de la cubierta liviana es notablemente mejor que el correspondiente a la cubierta pesada. Analizando por ejemplo los recursos energéticos utilizados, se comprueba que la cubierta pesada requiere más de cuatro veces lo requerido por la liviana, diferencia por demás notable pero sensiblemente menor a la primera indicación que se obtuvo a través del consumo de materiales. Entre los recursos que son incluidos en este factor, y que no fueron contemplados en el primero, se cita el consumo de combustible asociado al transporte de la madera (proveniente de Misiones, 1800 km de Mendoza), la energía requerida para fabricar el cemento, o la energía requerida para procesar la madera. Las restantes categorías de la figura analizada son aparentemente predominantes para los impactos asociados a la cubierta pesada, aunque

muchas categorías de impacto son difíciles de analizar por la escala utilizada, dado el gran peso que posee el consumo de recursos frente a las otras categorías. Para poder analizar con más detalle estas categorías se presenta la figura 3 derecha, donde se han quitado las categorías dominantes en la figura de la izquierda (Recursos consumidos, y Volumen de efluentes) para poder utilizar una escala más adecuada a las otras categorías. Se elimina además las categorías Residuos Peligrosos y Escorias y Cenizas; dada la escasa relevancia en el caso analizado. Los símbolos utilizados en las leyendas de las figuras sucesivas son: AP: Acidificación, GWP: Efecto invernadero, NP: Eutrofización, POCP: Formación de ozono fotoquímico, HT: Toxicidad humana, PT :Toxicidad permanente; RP: Residuos Peligrosos; EC: Escorias y Cenizas; VE: Volumen de Efluentes; Rec: Recursos energéticos naturales.

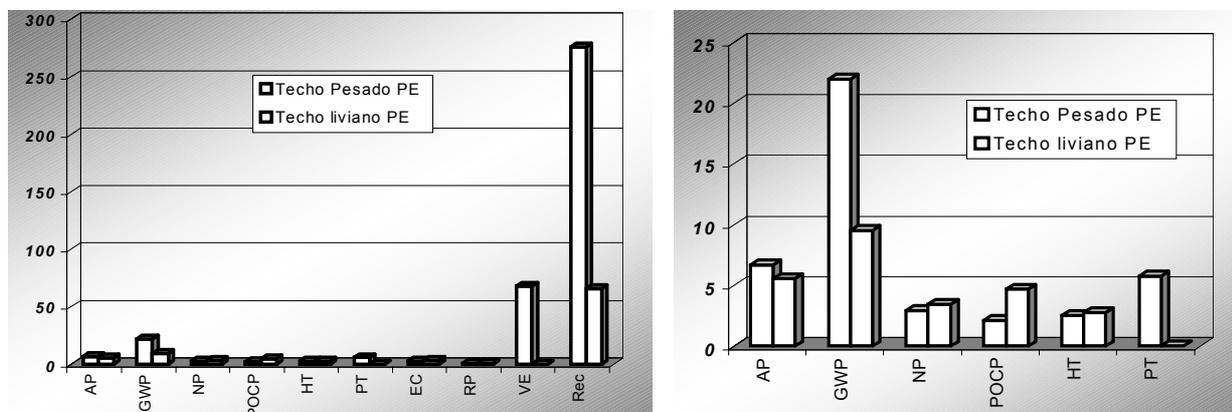


Figura 3. Izq. Perfiles ambientales (en μPeq) correspondientes a 1 m² de cubierta. Der. Idem sin incluir Rec y VE

En la nueva figura se observa que la cubierta pesada impacta más fuertemente en tres de las categorías analizadas, que son el Potencial de Calentamiento Global (GWP), con un 130 % más de impacto que la liviana, la Toxicidad Permanente (PT), varios órdenes de magnitud superior; y el potencial de Acidificación (AP), cerca del 20 % más de impacto. Se observa en cambio que en algunas categorías la situación es la inversa, cosa que no se alcanzaba a observar en la primera figura, en particular en el Potencial de formación de Fotosmog (POCP), que es de un 55 % menor para la cubierta pesada, el de nutrificación, un 15 % menor, y el de toxicidad humana, un 7 % menor. Los efectos negativos asociados a la cubierta liviana se originan principalmente en el proceso de secado, corte, cepillado y transporte de la madera. La madera es transportada en camiones desde Misiones hasta Mendoza, y se han utilizado valores de emisiones estándar para el transporte.

Para hacer una estimación de la influencia que tiene el transporte de la madera desde Misiones sobre el total de los recursos consumidos, se consideró el consumo de combustible necesario para transportar los 18,15 kg de pino durante 1800 km, estimando un consumo específico de gasoil de 0,816 MJ/tonkm, un valor estándar para camiones. El consumo estimado es de 26,5 MJ, lo que representa el 12 % del total de energía consumida en la cubierta. Si la madera fuera local (distancia estimada 200 km), el consumo asociado representaría sólo el 2 % del total correspondiente a ese caso, y se obtendrían mayores ventajas para la cubierta liviana comparada con la pesada, no sólo con respecto al consumo de recursos, sino también con las emisiones asociadas a su consumo en un camión (tales como CO₂, CO, particulado, VOC, NO_x, etc).

Incorporando ahora la fase de uso en el análisis, la escasa diferencia entre los coeficientes de conductancia térmica (0,356 W/K m² para la liviana y 0,338 W/m² K para la pesada) produce una escasa diferencia de consumo de energía para calefacción que se pierde a través de las cubiertas en los 50 años de vida útil considerada, apenas 12,64 MJ/m². Incluyendo estas pérdidas en el análisis se obtiene la figura 4 izquierda. Como esperado, la inclusión de este aspecto no cambia en modo relevante el análisis hecho hasta el momento, como se aprecia comparando las últimas dos figuras comentadas.

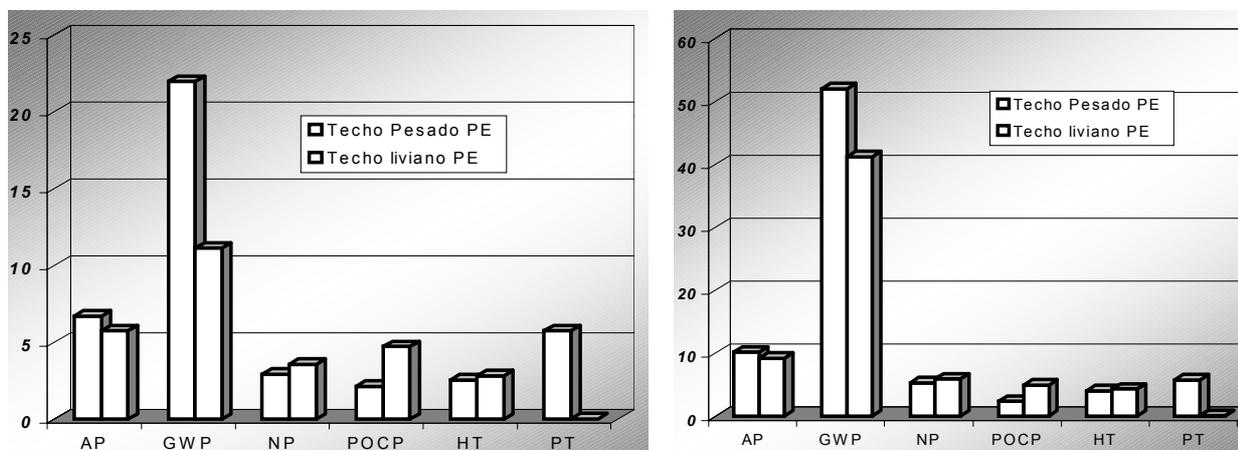


Figura 4. Izq. Perfiles ambientales (en μPeq) correspondientes a 1 m² de cubierta, incluyendo la diferencia de pérdidas de energía entre ambas. Der. Idem incluyendo las pérdidas totales en ambas durante la vida útil.

Para tener una impresión de la real magnitud de los impactos introducidos por los materiales constituyentes las cubiertas contra los originados en las pérdidas producidas a través de las cubiertas, es que se reporta la figura 4 derecha, donde en lugar de incluir solamente la diferencia de pérdidas de energía entre ambas cubiertas, como en la figura 4 izquierda, se han considerado las pérdidas totales producidas en cada cubierta durante los 50 años. Obviamente se mantiene los efectos que predominan para cada cubierta en ambas figuras son los mismos, pero cambian las diferencias relativas. Se observa que el Potencial de Calentamiento Global para la cubierta pesada ahora es un 26 % superior al de la liviana, la Toxicidad Permanente es aún varios órdenes de magnitud superior, y se observan algunas categorías en las que la cubierta liviana impacta más que la pesada, pero en la mayoría de los casos la diferencia no es significativa considerando la confiabilidad y el origen de los datos utilizados.

La última fase del ciclo de vida de las cubiertas analizadas, la fase de desmantelamiento o de fin de vida, es de más difícil cuantificación ya que no existen estrategias oficiales de recuperación, reciclado o re-uso de materiales, ni estadísticas sobre el destino final de los materiales de demolición, los cuales encuentran lugar muchas veces en vaciaderos clandestinos. Se puede solamente hacer una apreciación cualitativa, donde también la cubierta liviana presenta ventajas, dada la mayor facilidad para desmontar, tanto por la tipología constructiva como por el menor peso que presenta. Además, la madera tiene varias opciones de reciclado y re-uso, incluyendo la combustión con fines energéticos, mientras la losa de hormigón no es re-utilizada en algún modo, al menos localmente, y termina siempre en vaciaderos de residuos, ya sea municipales o clandestinos.

Por último, se realiza una comparación de los perfiles ambientales correspondientes a la cubierta liviana de poliestireno expandido apenas analizada con otra cubierta, también liviana pero aislada con lana de vidrio de un espesor de 5 cm, lo que es una práctica habitual en la región. La figura 5 muestra los resultados obtenidos, en la izquierda considerando sólo el impacto producido desde la obtención de la materia prima hasta la instalación de las cubiertas, y en la derecha incluyendo las pérdidas producidas durante los 50 años de vida útil. El mayor contenido energético del poliestireno expandido, que según distintos autores varía entre 120 y 140 MJ/kg (Boustead et al 1995, Cole et al 1992), mientras para la lana de vidrio varía entre 14 y 23 MJ/kg (Cole et al 1992), determina la gran diferencia de perfiles observada en la figura de la izquierda. Sin embargo, cuando se incluyen las mayores pérdidas que se producen a través de la cubierta de lana de vidrio por el menor espesor adoptado y la diferencia de conductividad térmica de ambos materiales, estas diferencias se reducen notablemente, y en algunos casos cambia de signo, como en el del Potencial de Calentamiento Global, o el de Eutrofización.

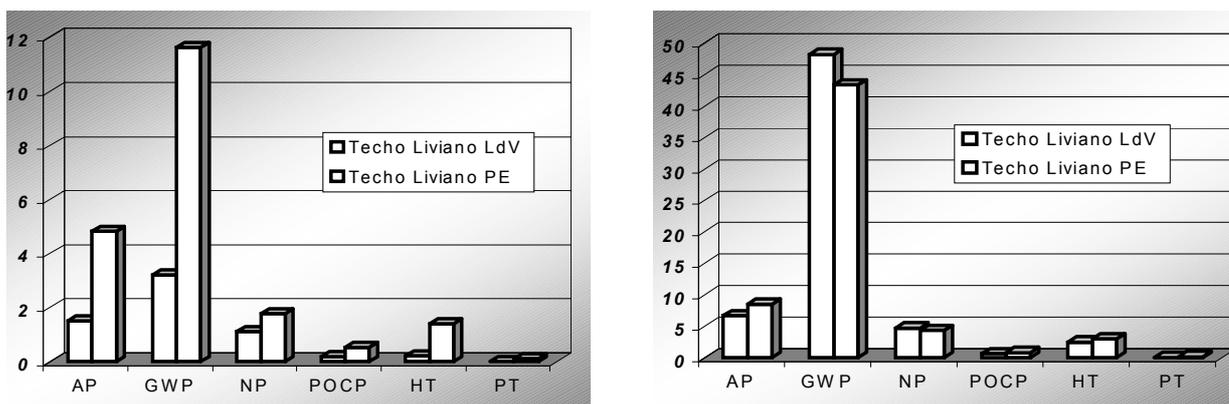


Figura5. Izq. Perfiles ambientales (en µPeq) correspondientes a 1 m² de cubierta liviana. Der. Idem incluyendo pérdidas de energía durante el uso en 50 años.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

La primera impresión acerca del impacto ambiental asociado a las cubiertas pesadas y livianas es que la primera, unas 10 veces más pesada que la segunda, es notablemente más impactante. Cuando se analiza esto desde un punto de vista más amplio, como el brindado por el concepto del Análisis del Ciclo de Vida, se observa que los impactos si bien son notablemente superiores en algunos casos, no lo son tanto como lo indicado por la cantidad de masa, y en algunas categorías de impacto, tales como el Potencial de Formación de Fotosmog, resulta incluso inferior para la cubierta pesada. Se observa de todos modos en general un impacto mayor en la cubierta pesada, lo cual sería aún más evidente si la madera utilizada proviniera de plantaciones locales, y no de lugares tan distantes como Misiones, lo que requiere 12 % más de recursos energéticos que para el caso (hipotético) en que la madera proviniera de plantaciones locales. Cuando se incluye en el análisis la fase de uso del edificio las diferencias porcentuales se hacen menores, debido al peso que tiene el impacto ambiental asociado a la energía perdida a través del techo durante los 50 ciclos invernales considerados en la vida útil de la vivienda. No obstante esto, si se tiene en cuenta el número de viviendas que sería necesario fabricar cada año para cubrir la demanda habitacional insatisfecha, aún estas diferencias relativas pequeñas representarían cantidades absolutas muy relevantes para el ambiente. La última etapa del ciclo de vida de las cubiertas, constituida por su desmantelamiento y eventual re-uso, reciclado o recuperación de materiales, no ha sido cuantificada en términos ambientales. Sin embargo, dadas las características y las cantidades de los componentes que constituyen cada una de las cubiertas analizadas, resulta evidente que la cubierta liviana presenta ventajas importantes con respecto a la losa de hormigón.

Si se compara la cubierta liviana aislada con 10 cm de poliestireno analizada hasta ahora con una cubierta liviana tradicional, aislada con 5 cm de lana de vidrio, se observa que ésta última opción presenta ventajas ambientales significativas, no sólo por la menor cantidad de material aislante contenida, sino también por el menor contenido energético de la lana de vidrio comparada con el Poliestireno Expandido. Sin embargo, cuando se incorpora la fase de uso, las menores pérdidas de energía

en la cubierta más aislada hacen desaparecer estas pérdidas, y en algunas categorías de impacto resulta aún más conveniente la cubierta aislada con 10 de Poliestireno, para la localidad analizada. Las diferencias obtenidas no son sin embargo de magnitud relevante, que permitan establecer un beneficio ambiental neto claro a favor de una u otra opción. En este estudio no se han realizado consideraciones acerca de la durabilidad de los materiales aislantes, y se ha supuesto que ambos han sido colocados de acuerdo a reglas de buena práctica que aseguran el mantenimiento de sus propiedades durante el período de vida útil considerado. En el caso que las citadas consideraciones no se cumplieran, es la lana de vidrio el material más susceptible de perder sus propiedades aislantes, lo que exigiría una o más sustituciones durante los 50 años de vida útil de la vivienda, y la balanza se inclinaría claramente a favor de la cubierta aislada con poliestireno.

Resulta evidente la importancia de estudiar todas las fases del ciclo de vida en las evaluaciones ambientales de productos comparativos, ya que muchas veces los resultados obtenidos considerando una sola fase, son completamente diferentes a los obtenidos considerando el ciclo de vida completo.

El análisis del ciclo de vida permite determinar en modo objetivo cuáles son los materiales más benignos desde el punto de vista ambiental y energético. Permite además poner en evidencia los impactos ambientales que cada elección de diseño determina, y rastrear los materiales o procesos que los causan, cuantificando su influencia. Esto es muy importante, ya que muchas veces se tienen nociones equivocadas acerca de lo que es más benigno o más dañino para el ambiente, las que surgen de considerar sólo una parte del ciclo de vida completo de los objetos analizados.

ABSTRACT

There are two widespread technological alternatives used for the design of roofs in dwellings in the province of Mendoza, which are the heavy ones built with concrete, and the light weight roofs made up mainly with wood. The environmental consequences of using one or the other, according to the different materials used and also the differences in thermal properties of the roofs, which affect the energy balance of the dwelling during the heating season, are studied in this work. The studied case is a house built in the Arroyo Claro neighboring, located in Tunuyan, Mendoza. For the environmental analysis the Life Cycle Assessment tool has been used. Also the possible advantages of using a 10 cm thick layer of Polystyrene Foam as thermal insulation, against the widely used 5 cm thick layer of glass wool is investigated.

Key words: Dwellings, roofs, alternative materials, insulation, environmental impact, Life Cycle Assessment.

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 edificación*. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 3, Nº 2.
- Boustead I., Hancock G. F. (1979). *Handbook of Industrial Energy Analysis*. Ellis Horwood Limited, Chichester.
- Cole, R., Rosseau, D. (1992). *Environmental Auditing for building construction: energy and air pollution indices for building materials*. Buildings and Environment, Vol 27, N. 1 (23-30).
- Wenzel, H., Hauschild, M., Alting, L (1997). *Environmental assessment of Industrial Products*, Chapman & Hall, UK.