UN INSTRUMENTO PARA EL ANÁLISIS Y EVALUACIÓN AMBIENTAL DE PRODUCTOS Y TECNOLOGÍAS. EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. III -APLICACIÓN: AISLANTES TÉRMICOS EN MUROS DE ESCUELAS RURALES EN REGIONES ÁRIDAS ANDINAS.

Alejandro Pablo Arena *, Carlos de Rosa **
* Becario postdoctoral CONICET. ** Investigador independiente CONICET
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

El sector edilicio es un gran consumidor de energía, materia prima y productos además de liberar grandes cantidades de deshechos y emisiones. Estos consumos y emisiones se producen en todas las etapas del ciclo de vida de los edificios (construcción, uso, reacondicionamiento y desmantelamiento final). Sin embargo, la mayor parte de los consumos energéticos (y de las emisiones asociadas) se producen durante la fase de uso de los mismos, que normalmente dura decenas de años. La aplicación de materiales aislantes es un importante aliado para lograr la disminución de estos consumos y emisiones, y un buen dimensionamiento de los espesores colocados brinda además un beneficio económico. Esta operación traslada parte de los consumos y emisiones que se producen durante la operación a la fase de construcción, con distintas características e intensidades. Para hacer una correcta evaluación de los beneficios energéticos y ambientales producidos por la aplicación de aislantes térmicos es necesario considerar el ciclo de vida completo del sistema analizado. En este trabajo se analizan las consecuencias ambientales y energéticas de la aplicación de distintos materiales aislantes sobre muros de edificios escolares en zonas áridas andinas de la Provincia de Mendoza (Argentina), utilizando como método el Análisis del Ciclo de Vida.

INTRODUCCIÓN

El sector edilicio tiene una gran influencia sobre el total de los consumos de recursos naturales y de las emisiones producidas en un país, con el consecuente impacto sobre el ambiente (agotamiento de los recursos naturales, calentamiento global, lluvia ácida, smog, acumulación de residuos, etc.). Estos impactos asociados al sector edilicio presentan una distribución espacial extendida, lo que disimula en cierto modo su magnitud, a diferencia de lo que ocurre en las industrias por ejemplo, que procesan grandes cantidades de recursos y liberan ingentes emisiones en una superficie muy limitada. En líneas generales, los factores que afectan los aspectos energéticos de un edificio son:

- El efecto de la forma y la orientación del edificio sobre las cargas de calefacción y de acondicionamiento;
- El papel de la envolvente del edificio sobre la luz solar, la ganancia de energía del sol y la ventilación natural;
- El papel de los ocupantes en la estrategia de operación para el control climático del edificio.

El proyectista posee una gran influencia sobre los citados factores, y debe ser consciente del impacto que tienen las decisiones que toma sobre el contexto energético-ambiental de la sociedad. Cuando no incorpora tecnologías eficientes en el diseño, tanto el propietario como la comunidad pierden una importante oportunidad de disminuir esos consumos para toda la vida útil del mismo, mientras que un proyectista consciente puede lograr, con los conocimientos y los instrumentos adecuados, una reducción muy importante de los impactos ambientales del sector. Existe actualmente un creciente interés por las cuestiones ambientales, pero para pasar de una etapa de preocupación pasiva a una más activa orientada a la mitigación de los problemas emergentes es necesario poner a disposición de los actores involucrados instrumentos idóneos que permitan incorporar en modo sistemático la dimensión ambiental en el proceso del diseño. Las medidas que se pueden adoptar para mitigar los consumos energéticos van desde la utilización de recursos energéticos de origen renovable, el uso racional de la energía y la utilización de materiales de construcción menos energívoros. Para aplicarlas, es necesario fabricar dispositivos y materiales idóneos que generan a su vez un consumo de recursos y nuevas emisiones. Para conocer los reales beneficios obtenidos es necesario utilizar métodos rigurosos que comprendan todas las etapas del ciclo de vida del sistema evaluado.

EL CASO ANALIZADO

El método del análisis del ciclo de vida ha sido empleado en este trabajo para evaluar el impacto energético y ambiental de la aplicación de aislantes térmicos en muros de edificios escolares para obtener confort térmico con mínimo consumo de energía. La comparación se efectúa en muros exteriores de aulas de la escuela que a continuación se describe y de otra completamente análoga desde el punto de vista funcional, pero que no posee sus muros aislados (caso tradicional en el medio). La definición de Unidad Funcional que se adopta para este estudio es: “el impacto ambiental de la instalación de una capa de aislante térmico

aplicado sobre los muros externos del edificio y de los materiales adicionales que esto comporta, incluyendo cincuenta años de pérdidas de calor reducidas". Esta definición se adapta a los objetivos del estudio, pero los resultados no serán comparables con otros realizados en otros edificios.

DESCRIPCIÓN

El objeto de este estudio es el edificio escolar Nº 4-041, «ALICIA MOREAU DE JUSTO», actualmente en construcción en la ciudad de Lavalle, en la Provincia de Mendoza, cuyo proyecto fue comisionado por la Dirección de Escuelas de la Provincia de Mendoza al LAHV-INCIHUSA, unidad de investigación y desarrollo dependiente de CONICET. La localización geográfica es 32.75 lat. S, 68.07 long. oeste, alt. 600 msnm, y el clima se caracteriza por los siguientes parámetros: 980 °Cdía/año de calefacción (base 16ºC), 270 °Cdía/año enfriamiento (base 23ºC), radiación global horizontal media anual: 18,4 MJ/m2, iluminancia exterior horizontal media anual al mediodía solar: 65800 lux. El objetivo del proyecto es obtener un máximo de confort térmico y lumínico con un consumo mínimo de energía, utilizando para ello tecnología disponible en la región, maximizando el empleo de mano de obra local capacitada y reduciendo costos donde ello no altere la calidad constructiva y la durabilidad del producto (una descripción completa se encuentra en Basso et al 1999). El sector aulas está constituido por dos hileras paralelas separadas por un corredor cerrado, de modo que una hilera de aulas da al exterior a través de muros orientados al norte, mientras la otra lo hace a través de muros orientados al sur y reciben ganancia solar a través de ventanas superiores por diferencia de techos(ver Figura 1). La ventilación cruzada de las aulas norte se efectiviza por ventanas superiores ubicadas en los techos. Para el estudio se tomó un conjunto de dos aulas, una en cada una de las hileras descriptas, situadas en una posición intermedia de modo que ambas confinen con ambientes calefaccionados al este y al oeste. Los muros exteriores son dobles de mampostería de ladrillo con aislación térmica intermedia (K=0,55 W/m2K). La Figura 1 muesra el muro exterior adoptado.

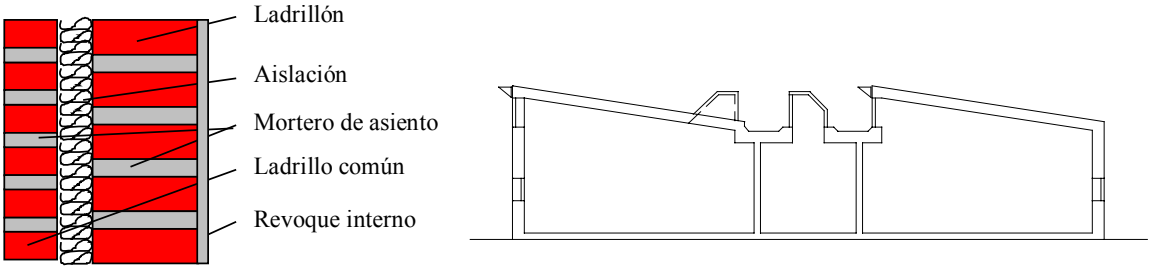

Figura 1. Izquierda: Esquema de muro aislado. Derecha: par de aulas estudiadas

APLICACIÓN

El objetivo del estudio es el de comparar objetivamente desde el punto de vista energético-ambiental muros aislados y sin aislar, para entender las relevancia de los materiales utilizados y de los criterios de proyecto adoptados. La superficie de los muros aislados es de 50,4 m2. Se asume que la decisión de construir un edificio en un determinado lugar está tomada, que los factores asociados al transporte de las personas durante el uso del edificio no intervienen en el estudio y que las pérdidas y/o ganancias a través de otros componentes no intervienen en el análisis. Además, el interés no es el de analizar los procesos productivos de componentes, de sistemas de transporte ni de la infraestructura sobre la que se apoya el sector. Como consecuencia de esta elección, el análisis no tomará en cuenta los procesos secundarios intervinientes, excepto en el caso de los flujos energéticos, los que serán analizados no sólo en la magnitud sino también en su eficiencia de producción, conversión y transporte hasta el lugar de consumo. Por otro lado, la evaluación de los muros exteriores se hace desde el punto de vista del confort térmico, por lo cual el estudio se limitará a los efectos sobre el ambiente exterior, sin considerar efluentes de origen humano ni aspectos relacionados a la seguridad o a la salud. 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), en general esta fase no será tenida en cuenta.

ANÁLISIS ENERGÉTICO Y AMBIENTAL. RESULTADOS OBTENIDOS

Para el análisis de la influencia de la aplicación de aislantes térmicos en muros se han tenido en cuenta solamente las diferencias constructivas entre los muros de aulas aislados y sin aislar, junto con la diferencia de consumos energéticos que conducen a las mismas condiciones de confort térmico en el interior. Por lo tanto, para la evaluación energética y ambiental de los muros aislados se consideraron sólo los materiales que estos muros aislados presentan demás que las convencionales (ladrillos, mortero, aislante, hierro de anclaje, etc.), mientras que para la evaluación del muro convencional se tuvo en cuenta sólo la energía que los muros aislados ahorran en las aulas durante su vida útil (50 años) con respecto a un aula convencional con muros sin aislar.

Tabla 1. Ahorro energético y consumo de energía asociados al uso y fabricación de los muros aislados.

	Ahorro obtenido en toda la vida útil			Consumo por construcción			Energía neta ahorrada
	Total	Por m^2 de piso	Por m^2 aislante	Total	por m2 muro	% del ahorro	
	MJ	MJ/m^2 piso	MJ/m^2 aislado	MJ	MJ/m^2		MJ
Poliestireno	229804	2156,5	4560,5	46324	919,3	20,20%	183480,01
Lana de vidrio	228718	2146,3	4538,9	45431	901,6	19,90%	183286,52

Los cálculos relativos al ahorro energético han sido realizados según el método de Balcomb et al (1983), y los resultados se representan en la Tabla 1. En esta se observa que el ahorro que se obtiene a lo largo de toda la vida útil del edificio, estimada en 50 años, compensa con creces el consumo de energía asociado a la fabricación de los materiales necesarios para aislar los muros exteriores. Se indican algunos parámetros específicos, como energía ahorrada por unidad de superficie de piso y energía ahorrada por unidad de muro aislado. La Figura 2 representa el balance energético global de la aislación de los muros, teniendo en cuenta los consumos evitados durante toda la vida útil del edificio y el gasto energético asociado a la construcción del muro aislado.

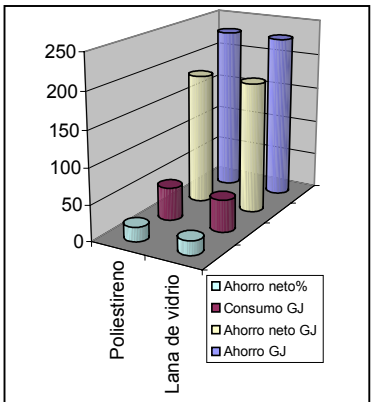

Figura 2. Balance energético de la aislación de los muros

En la Figura 3 se representan distintos perfiles ambientales correspondientes a los muros exteriores del par de aulas analizadas. El método adoptado para normalizar es el de la Universidad de Copenhagen, que utiliza el concepto de persona equivalente, que relaciona las emisiones de un determinado gas con el promedio de las emisiones mundiales (o locales) por persona. Los resultados han sido expresados en millonésimas de persona equivalente. En la figura de la izquierda se representan los perfiles correspondientes a los muros aislados y sin aislar. La diferencia de consumo de recursos entre estos dos casos es tan grande que no permite realizar comparaciones para otros impactos, por lo que en la figura central se repiten los perfiles, esta vez sin incluir consumo de Recursos, producción de escorias y cenizas, producción de residuos peligrosos y volumen de efluentes. Se observa ahora que el perfil ambiental para el caso de muros sin aislar es peor que el de los muros aislados prácticamente en todos los impactos analizados, con la excepción del potencial de producción de ozono fotoquímico. Investigando el origen de este empeoramiento, se detectó que el responsable es el proceso de fabricación de ladrillos. En muchas zonas de Mendoza, la fabricación de ladrillos se realiza en forma artesanal, en condiciones laborales muy precarias y utilizando leña para su cocción, lo que libera grandes cantidades de monóxido de carbono y favorece la formación de ozono fotoquímico.

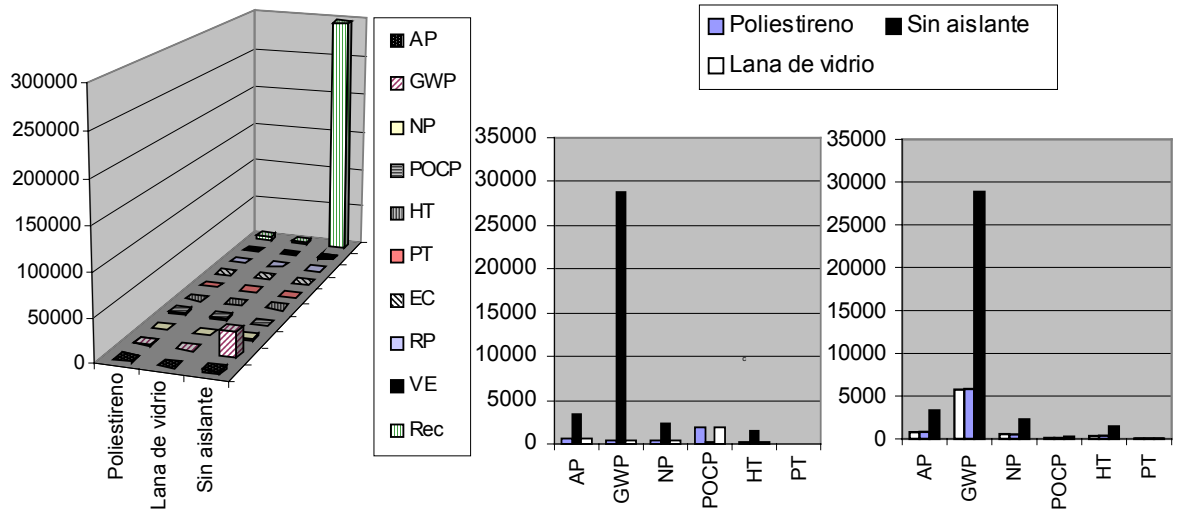

Figura 3. Izq.: perfiles ambientales (en µPeq) correspondientes a muros aislados con Poliestireno expandido, con Lana de vidrio y sin aislar. Centro: Idem sin incluir Consumo de Recursos, producción de escorias y cenizas, de residuos peligrosos y volumen de efluentes. Der.: Idem con hipótesis de cocción de ladrillos con GN.

Símbolos utilizados: AP:Acidificación, GWP:Efecto invernadero, NP :Eutrofización, POCP:Formación de ozono fotoquímico, HT:Toxicidad humana, PT :Toxicidad permanente, EC:Escorias y Cenizas, RP:Residuo Peligroso, VE:Volumen de efluentes, Rec:Consumo de Recursos

Como hipótesis alternativa, se investigó cuál sería la situación si en lugar de leña se utilizara gas natural para la cocción, con los mismos rendimientos energéticos. Los resultados se observan en la figura de la derecha, donde se puede apreciar que en la nueva situación el potencial de formación de ozono fotoquímico es prácticamente nulo. Se observa además un efecto secundario, que es el aumento del potencial de calentamiento global con respecto a la situación de cocción de ladrillos con leña. Esto se debe a que durante la combustión de la leña se libera una cantidad de dióxido de carbono equivalente a la que la planta de donde proviene almacenó durante la etapa de crecimiento, con un balance global neto nulo. Por este motivo el potencial de calentamiento global es menor cuando se usa leña. Esto es válido solamente cuando esta proviene de plantaciones planificadas, en las cuales la tasa de talado es igual a la de reposición de nuevas plantas. Como es imaginable, la producción artesanal de ladrillos en la provincia no siempre tiene este tipo de consideraciones incluidas en sus procesos.

Con el objeto de establecer diferencias entre los dos tipos de muros aislados, se quitó el perfil correspondiente a los muros sin aislar en la Figura 4. En la figura **a** se comparan los perfiles correspondientes a los muros aislados con poliestireno y con lana de

vidrio, expresados en millonésimas de persona equivalente, cuando los ladrillos son cocidos con leña, mientras en la figura **b** se analiza el caso de cocción con gas natural. Como antes, se observa el crecimiento del potencial de calentamiento global y la disminución del potencial de formación de ozono fotoquímico al cambiar el combustible. Se observa además que ambos muros tienen perfiles similares, aunque con una ligera predominancia en casi todos los impactos representados del muro aislado con poliestireno, excepto para el potencial de eutrofización y el de formación de ozono fotoquímico.

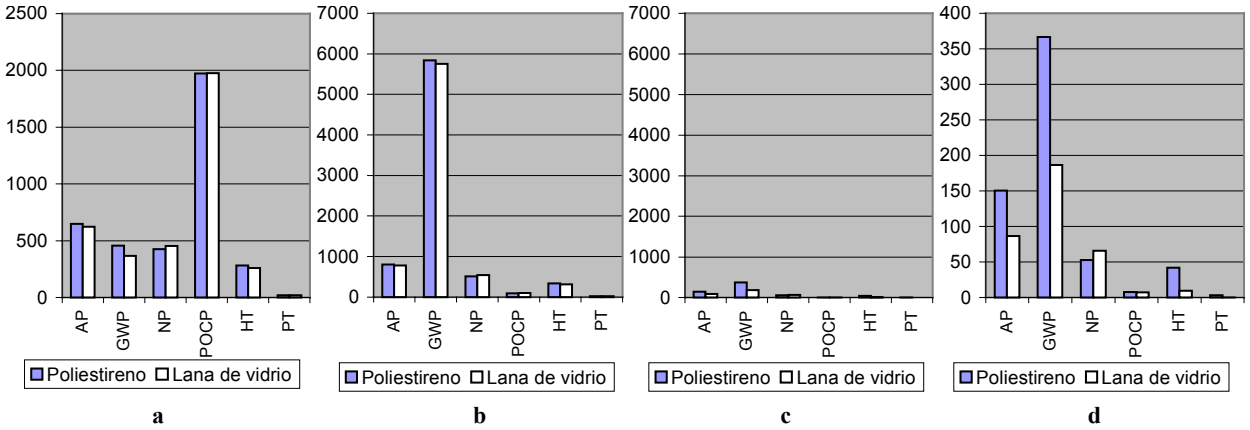

Figura 4. Perfiles ambientales (en µPeq) de los muros aislados. a: cocción de ladrillos con leña. b: cocción de ladrillos con gas natural. c: Perfiles ambientales (en µPeq) sólo de los materiales aislantes. d: idem en una escala menor.

Para establecer diferencias entre los tipos de material aislante utilizados, en las Figura 4 **c** y **d** se analizan sólo los efectos ambientales derivados de la producción del aislante utilizado, excluyendo todos los demás materiales involucrados en la operación (ladrillos, morteros y hierro de anclaje). En la Figura **c** se ha utilizado la misma escala que en la **a**, de modo que a través de la comparación de estas dos figuras se pone en evidencia la escasa incidencia que tiene el material aislante en relación al resto de los materiales utilizados para construir los muros aislados. Esto significa que la diferencia entre los perfiles representados en las figuras a y c se debe a los ladrillos, mortero y hierro utilizado en el anclaje. Entre estos, la mayor responsabilidad recae naturalmente sobre los ladrillos del muro de protección, debido a su gran masa. Lógicamente, un diseño diferente del muro aislado con una protección distinta podría modificar la importancia relativa de los materiales aislantes utilizados.

La figura de la derecha utiliza una escala apropiada para la comparación de los materiales aislantes entre sí, donde se aprecia con mayor claridad lo que ya fue apuntado en el análisis de las Figuras a y b con relación al mayor impacto ambiental que se produce durante la producción del poliestireno, con las excepciones apuntadas. Esto no significa que la lana de vidrio sea más benigna desde el punto de vista ambiental que el poliestireno expandido, ya que la figura representa sólo la etapa de producción de los materiales. Es bien sabido que durante el uso de los mismos el poliestireno presenta mayores ventajas para la aislación de muros, debido a sus características higroscópicas y de durabilidad. Por otra parte, la lana de vidrio requiere precauciones de instalación para evitar el desprendimiento de polvillo, lo que puede acarrear perjuicios para la salud.

CONCLUSIONES

A través de un ejemplo simple, se demuestra la potencialidad del método del análisis del ciclo de vida para la evaluación energética y ambiental de alternativas proyectuales en el sector edilicio. Se observa cómo es posible poner en evidencia los impactos ambientales que cada elección determina y rastrear los materiales o procesos que los causan, lo que constituye el primer paso para mitigarlos. En particular, en el ejemplo analizado los siguientes aspectos han sido identificados:

1) se cuantifica el impacto energético y ambiental de la aplicación de aislantes térmicos en muros externos;
2) se advierte que prácticamente todos los aspectos ambientales analizados mejoran con la aislación de los muros;
3) se observa que los muros aislados presentan mayor potencial de formación de ozono fotoquímico que los muros sin aislación;
4) se identifica el proceso responsable de este impacto ambiental en el de cocción de ladrillos utilizando leña;
5) se muestra que el cambio de combustible en el proceso de cocción conduce a eliminar el efecto indeseado;
6) se muestra la importancia de las plantaciones planificadas sobre el balance del CO2 cuando se utiliza leña como combustible;
7) se muestra la escasa relevancia que tiene el material aislante adoptado sobre el impacto ambiental del conjunto de materiales utilizados para aislar los muros exteriores, para la tipología analizada;
8) se cuantifican las diferencias que los dos materiales aislantes analizados producen durante su fabricación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balcomb, J.D.et al. (1983): «*Passive Solar Design Handbook*».ASES. Boulder, Co. USA.

Buchanan, A., Honey, B. (1994). *Energy and carbon dioxide implications of building construction*. Energy and Buildings, 20 (205-217).

Basso, M. de Rosa, C., Esteves, A., Pattini, A., Mitchell, J., Cantón, A. Mesa, A., Fernández, J.C., Cortegoso, J. (1999). *Un edificio escolar energéticamente eficiente en el centro-oeste de Argentina*. Presentado para ANTAC'99, Fortaleza (Brasil).