



USO DEL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA EN EDIFICIOS. APLICACIÓN PARA EL CASO DE TECNOLOGÍAS DE USO SOLAR PASIVO EN MENDOZA (ARGENTINA)

Arena, Alejandro Pablo

LAHV, INCIHUSA. Cricyt (CONICET).

Av. Ruiz Leal s/n. Parque Gral. San Martín (5500). Mendoza (Argentina)

Tel: +54 261 4288797 Fax: +54 261 4287370

E-mail: aparena@lab.cricyt.edu.ar, pablito@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN: Durante la fase de utilización de los edificios se producen grandes consumos de energía, materia prima y productos además de grandes cantidades de desechos y emisiones. Existe en la actualidad una tendencia a disminuir estos consumos, al costo de colocar nuevos y más materiales durante la construcción de los edificios, por ejemplo utilizando ventanas de doble vidrio, paneles fotovoltaicos y colectores solares, aislando los muros, etc. Esto traslada parte de los consumos y emisiones que usualmente se producían durante la operación a la fase de construcción. Para hacer una correcta evaluación de los beneficios reales que una tecnología aporta desde el punto de vista energético y ambiental, es necesario considerar el ciclo de vida completo del sistema analizado, y no sólo la fase de operación como es práctica habitual. En este trabajo se analizan de este modo distintas tecnologías solares pasivas utilizadas en edificios escolares en zonas áridas andinas de la provincia de Mendoza (Argentina), comparándolas con técnicas convencionales.

ABSTRACT. During the use phase of a building huge amounts of energy, raw materials and products are consumed, while wastes and emissions are produced. In the last years great efforts have been made in order to diminish those consumes and emissions, using new materials during the construction phase, e.g. using double instead of simple glazing, adding insulation on the external walls, installing PV panels and solar collectors, etc. In this way, besides diminishing the consumption during the use of the buildings, an increase in the environmental impact due to the construction of the building is obtained. In order to assess in a complete way the real energetic and environmental benefits that can be obtained through the use of a given technology, a method that takes into account the whole life of the system must be used. In this work different solar passive technologies utilized in school buildings in arid Andean regions in Mendoza (Argentina) have been analyzed following this procedure.

1 Introducción

El sector edificio tiene una gran influencia sobre el total del consumo de recursos naturales y de las emisiones producidas, con el consecuente impacto sobre el ambiente (agotamiento de los recursos naturales, calentamiento global, lluvia ácida, smog, acumulación de residuos, etc.). La energía consumida durante la etapa de utilización del edificio representa la cantidad más importante del total consumido durante todo el ciclo de vida, y cuando el proyectista o el constructor no incorpora tecnologías de uso eficiente de energía, tanto el propietario como la comunidad pierden una importante oportunidad de disminuir esos consumos para toda la vida útil del mismo (que normalmente es un tiempo muy largo). Las medidas que se pueden adoptar para mitigar este fenómeno en el sector 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. Sin embargo, para lograr los citados objetivos es necesario fabricar dispositivos y materiales idóneos, lo que genera a su vez un consumo de recursos y nuevas emisiones, las que no deben superar las evitadas para tener un balance positivo. Por otro lado, la adopción de ciertos materiales puede mejorar un aspecto ambiental mientras se empeora otro, por lo cual para conocer los reales beneficios obtenidos es necesario utilizar métodos rigurosos y científicos que comprendan todas las etapas del ciclo de vida del sistema evaluado.

2 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El método del Análisis del Ciclo de Vida ha sido aceptado en forma general en la comunidad científica ambiental como una base legítima sobre la cual comparar materiales, componentes y servicios alternativos. Su estandarización a través de las normas ISO 14040 va a facilitar el intercambio entre grupos y países. La definición dada por SETAC para el método del ACV es la siguiente: *"es un procedimiento objetivo de evaluación de cargas energéticas y ambientales correspondientes a un proceso o a una actividad, que se efectúa identificando los materiales y la energía utilizada y los descartes liberados en el ambiente natural. La evaluación se realiza en el ciclo de vida completo del proceso o actividad, incluyendo la extracción y tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, el reciclado, la reutilización y el despacho final."*

El método tiene cuatro partes fundamentales, que son:

1. definición de objetivos: establecen el fin del estudio, límites del sistema, etc;
2. inventario, cuantificación de los flujos entrantes y salientes del sistema durante todo su ciclo de vida.
3. evaluación de impactos, clasificación y evaluación de los resultados del inventario.
4. interpretación, evaluación de las etapas precedentes, en un modo congruente con los objetivos definidos para el estudio.



Figura 1. Etapas de un ACV

Dependiendo de los objetivos del estudio y de las conclusiones se puede seguir con una etapa que conduzca a la elaboración de propuestas para reducir los impactos calculados.

El método del ACV es de carácter dinámico, y está bien estructurado para el caso de productos industriales. Para extender el uso del ACV al sector edilicio es necesario inventariar tanto los consumos de materiales y de energía como las emisiones liberadas durante todo el ciclo de vida, e introducir algunas modificaciones que tengan en cuenta las características de este sector, entre las que se destacan la gran duración de los productos elaborados (típicamente 25-50 años), el escaso número de productos iguales (pocas casas o edificios son iguales a otros), el modo distinto de representar sus unidades, etc.

3 Los datos existentes sobre el sector

Dada la complejidad del sistema industrial actual, la evaluación del inventario de todos los materiales y los procesos que intervienen en la construcción de un edificio es sumamente complicada. Existen en la actualidad numerosas bases de datos correspondientes a la realidad industrial de los países más avanzados, las cuales se encuentran en general incorporadas en programas que realizan los cálculos necesarios para llevar a cabo un ACV. En el ámbito local y regional, en cambio, es muy poca la información que se puede encontrar, y es necesario dedicar mucho tiempo y esfuerzo para recopilar la información requerida. Sin embargo, dada la sensibilidad de los resultados a los flujos de energía y de materia, en la mayoría de los casos la cuantificación de dichos flujos no requiere grados de exactitud muy elevados. Esto permite la utilización de datos correspondientes a procesos similares de otros países, o de datos estimados cuando estos no están disponibles. Sin embargo, en determinadas circunstancias las tecnologías adoptadas en otros países reflejan condiciones muy distintas de las locales, lo que hace imposible su adopción. Este es el caso por ejemplo de la fabricación de ladrillos, que a menudo se elaboran en la provincia de Mendoza en forma artesanal, utilizando leña o carbonilla como combustible para su cocción. Estos casos exigen un análisis más profundo para obtener datos atendibles. Uno de los

aspectos que hay que considerar al utilizar datos foráneos es el origen de la energía utilizada cuando se quieren asociar cargas ambientales a los consumos energéticos.

4 El caso analizado

4.1 Objetivos

El procedimiento descrito en el punto anterior ha sido empleado en este trabajo para comparar distintas tecnologías constructivas utilizadas en edificios escolares para obtener confort térmico con mínimo consumo de energía tradicional. La comparación se efectúa entre aulas de la escuela descrita y de otra completamente análoga desde el punto de vista funcional, pero que utiliza las tecnologías que normalmente se aplican en el medio.

4.2 Descripción

El objeto de este estudio es el edificio escolar N° 4-041, "ALICIA MOREAU DE JUSTO", actualmente en construcción en la ciudad de Lavelle, en la provincia de Mendoza, y cuya descripción completa se encuentra en Basso et al 1999. El mismo forma parte de un conjunto de proyectos energéticamente eficientes a construirse en diferentes localizaciones urbanas del norte de la provincia de Mendoza, que han sido comisionados por la Dirección de Escuelas de la Provincia de Mendoza al LAHV-INCIHUSA, unidad de investigación y desarrollo dependiente de CONICET. La localización es en Lavelle, departamento ubicado en el norte de la provincia de Mendoza (lat. 32.75 S, long. 68.07 oeste, alt. 600 msnm, cuyo clima se caracteriza por los siguientes parámetros: 980 °Cdía/año de calefacción base 16°C, 270 °Cdía/año enfriamiento base 23°C, 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 convencional, 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 durabilidad del producto. Los componentes constructivos principales son: techos en pendiente de chapa metálica y horizontales de losa de hormigón, ambos con aislación térmica de poliestireno expandido, ($K=0,50$ W/m²K); muros exteriores: dobles de mampostería de ladrillo con aislación térmica intermedia, ($K=0,55$ W/m²K); Fundaciones: convencionales sin aislación, ($K=0,70$ W/m²K); ventanas de chapa doblada, simple contacto y burletes con doble vidrio transparente; ($K=2,73$ W/m²K). Aleros exteriores fijos permiten asoleamiento pleno de las ventanas colectoras, desde el 06/05 hasta el 06/08 y plena sombra desde el 06/11 al 06/02. Elementos difusores interiores homogeneizan el flujo luminoso y evitan la incidencia de radiación directa sobre el plano de trabajo. Experimentalmente, se ha instalado un sistema híbrido de enfriamiento terrestre para el acondicionamiento estival de las tres aulas orientadas al norte. La escuela consta de distintos bloques funcionales, de los cuales se ha tomado solamente el sector aulas para llevar a cabo este trabajo, las cuales han sido proyectadas de modo que obtengan ganancia solar desde patios hacia el norte de cada bloque y a través de ventanas superiores por diferencia de techos en las aulas ubicadas al Sur de dicho bloque. La ventilación cruzada de las aulas norte se efectiviza por ventanas superiores ubicadas en los techos. Para la comparación de tecnologías se han considerado dos aulas intermedias del bloque, una del bloque norte y otra del bloque sur. Solamente las tecnologías diseñadas para la reducción de los consumos de combustibles para calefacción han sido consideradas, mientras que aquellas destinadas al aprovechamiento de la luz

natural o al enfriamiento pasivo no han sido incluidas. De acuerdo con este criterio, los pares tecnologías eficientes-tecnologías convencionales elegidas para comparación son: muros exteriores eficientes-muros convencionales de ladrillón; ventanas convencionales de chapa doblada y vidrio simple -ventanas de chapa doblada de contacto simple y burlete con doble vidrio.

4.3 Análisis energético y ambiental. Resultados obtenidos

Para el análisis se han tenido en cuenta solamente las diferencias constructivas y operativas entre las aulas de las dos escuelas consideradas. Por lo tanto, para la evaluación energética y ambiental de las aulas "Moreau" se consideraron sólo los componentes que estas aulas presentan además que las convencionales (vidrios, ladrillones, burletes, mortero, etc.), mientras que para la evaluación de las aulas convencionales se tuvo en cuenta sólo el volumen de gas natural que las aulas "Moreau" ahorran durante toda la vida útil estimada (50 años). Es importante recalcar que una de las estrategias más importantes adoptadas en la escuela Moreau es el diseño y ubicación de ventanas que actúan como áreas colectoras, las cuales no han sido incluidas en esta comparación debido a la dificultad de establecer una situación de referencia convencional sobre este aspecto. En efecto, mientras es claro que las escuelas convencionales de la zona no poseen vidrios dobles ni muros aislados, al momento de la elaboración del presente trabajo no se poseían elementos que pudieran establecer con igual claridad un criterio convencional de distribución de aberturas. Los cálculos relativos al ahorro energético obtenido han sido realizados siguiendo el método propuesto en Balcomb et al (1983), cuyos resultados se representan en la siguiente tabla:

Tab. 1 Ahorro anual y total obtenido por la adopción de las estrategias eficientes.

Ahorro anual de energía

Ahorrada durante el uso	5307,5 MJ/año
Específica ahorrada durante el uso	49,8 MJ/año m ²
Gas envasado anual	2,5 Tubos de 45 kg/año
Gas natural anual	136,3 m ³ /año
Kerosene anual	164,7 litros/año

En toda la vida útil

Total ahorrada durante el uso	265374,5 MJ
Total específica ahorrada durante el uso	4980,7 MJ/m ²
Gas envasado total	125,8 Tubos de 45 kg.
Gas natural total	6812,8 m ³
Kerosene total	8236,3 litros

A continuación se representan las pérdidas en W/°C para cada uno de los elementos considerados para la escuela convencional y para la Moreau (izq.). La figura de la derecha muestra el ahorro porcentual obtenido por tecnología.

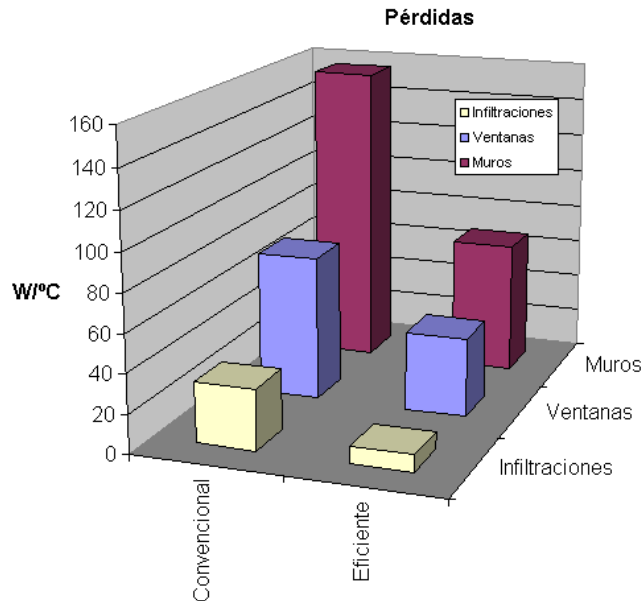


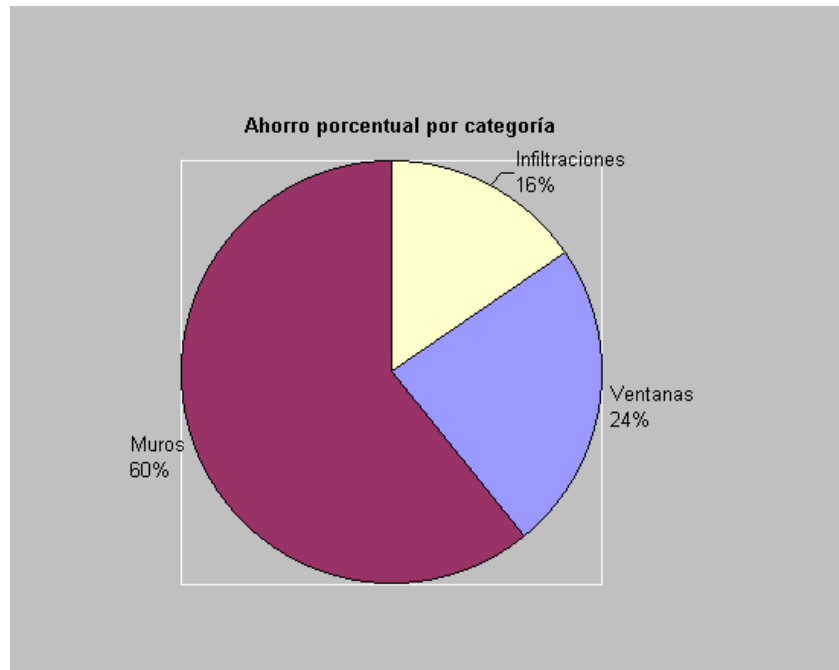
Fig. 3 Pérdidas en W/°C por muros, ventanas e infiltraciones para los dos casos considerados (izq.), y ahorro porcentual obtenido por la adopción de las estrategias eficientes (der.).

En la figura de la izquierda se ve claramente la disminución que cada acción produce sobre las pérdidas, a la vez que se observa el peso relativo de dichas pérdidas a través de cada elemento. En la figura de la derecha se puede ver que el ahorro que se obtiene por adopción de muros eficientes representa el 60 % del total, por vidriado doble se obtiene un 24 % y el 16 % restante se produce por disminución de infiltraciones. Para conseguir estos ahorros es necesario fabricar y colocar más vidrio, aislaciones, ladrillos, cemento, burletes, construir los componentes, etc. La siguiente tabla y el gráfico adyacente resumen el ahorro obtenido por cada estrategia aplicada, los consumos adicionales de energía debidos a la construcción de estas tecnologías eficientes, el ahorro neto resultante y algunas figuras de mérito que derivan de relaciones entre los valores calculados. Antes de analizar los resultados obtenidos, es necesario hacer algunas consideraciones sobre cuestiones de metodología adoptadas para el cálculo de los consumos energéticos y los impactos ambientales derivados de la fabricación de los materiales involucrados, a saber:

1. no se han considerado mayores consumos por procesos en la elaboración de marcos de ventanas debidos a la inclusión de dos vidrios en lugar de uno, dada la pequeña modificación introducida en el diseño por esta inclusión. Por lo tanto, la diferencia de consumos considerada comprende solamente el contenido energético de una lámina adicional de vidrio. Para el cálculo de este valor se tomó una media entre valores brindados por distintos autores en varias publicaciones (Worrell et al '94, Cole et al '92, Goulding et al '92, Adalbert '97, Buchanan et al '94). El valor promedio obtenido (19,92 MJ/kg) se encuentra en buen acuerdo con el valor medio publicado por la Building Research Establishment, UK 1994, que da como valor mínimo 13 MJ/kg y como máximo 31 MJ/kg (www.ecosite.co.uk), y cuya media corresponde a 22 MJ/kg.
2. para la reducción de las infiltraciones se ha tenido en cuenta la cantidad de energía necesaria para la producción de SBR, y se han despreciado los

consumos correspondientes al posterior moldeado del burlete. El valor considerado como contenido energético para la producción de SBR fue de 77,5 MJ/kg (Worrell et al '94).

Fig. 4 Ahorro, consumo y ahorro neto relacionados con la adopción de las estrategias eficientes. Relación consumo/ahorro.



Del análisis de la tabla y del gráfico precedentes se deduce que si bien los muros producen el mayor ahorro, son también los que requieren mayor energía para hacerlos eficientes, tanto en términos absolutos como porcentuales. No obstante ello, el ahorro neto que producen es el mayor de todos. El control de las infiltraciones es el caso diametralmente opuesto, produciendo el mayor ahorro por cada unidad de energía invertida. La figura 5 muestra los resultados de la comparación de los perfiles ambientales de los dos esquemas analizados, donde se puede observar que prácticamente para todos los efectos considerados el diseño eficiente es más benigno que el convencional. El único parámetro que escapa a esta regla es el de la formación de ozono fotoquímico, lo cual se debe a que en la producción local de ladrillos se utiliza como fuente de calor para la cocción la combustión incontrolada de biomasa, lo que libera monóxido de carbono en grandes cantidades favoreciendo la generación de ozono fotoquímico. A título ilustrativo, se comparó esta situación con una hipotética en la cual la cocción de ladrillos se hiciera con la misma eficiencia que la considerada pero utilizando gas natural en lugar de biomasa. El perfil ambiental comparativo correspondiente a esta situación ha sido representado en la figura 6.

En la nueva situación todas las variables ambientales analizadas son mejores para las aulas de la escuela Moreau que para la convencional. Se puede observar además, comparando las figuras 5 y 6, que el potencial de calentamiento global (GWP) para las aulas "Moreau" al utilizar biomasa como combustible de cocción de ladrillos es menor que utilizando gas natural. Esto se debe a que durante la fase de crecimiento vegetal se incorpora CO₂ a la biomasa en la misma cantidad que se libera cuando es quemada para obtener energía, por lo que la combustión de biomasa no produce emisión neta de CO₂.

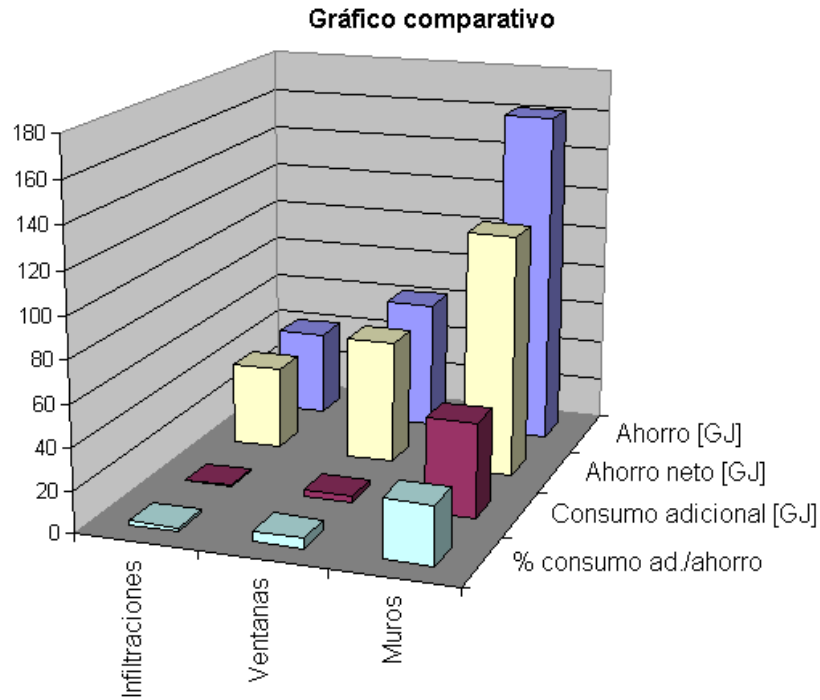


Fig. 5 Comparación de efectos normalizados. Caso de cocción de ladrillos con biomasa.

No obstante el GWP de las aulas "Moreau" sea peor en el caso de la Fig. 6 que en la Fig. 5, su valor es siempre notablemente inferior que en el caso convencional.

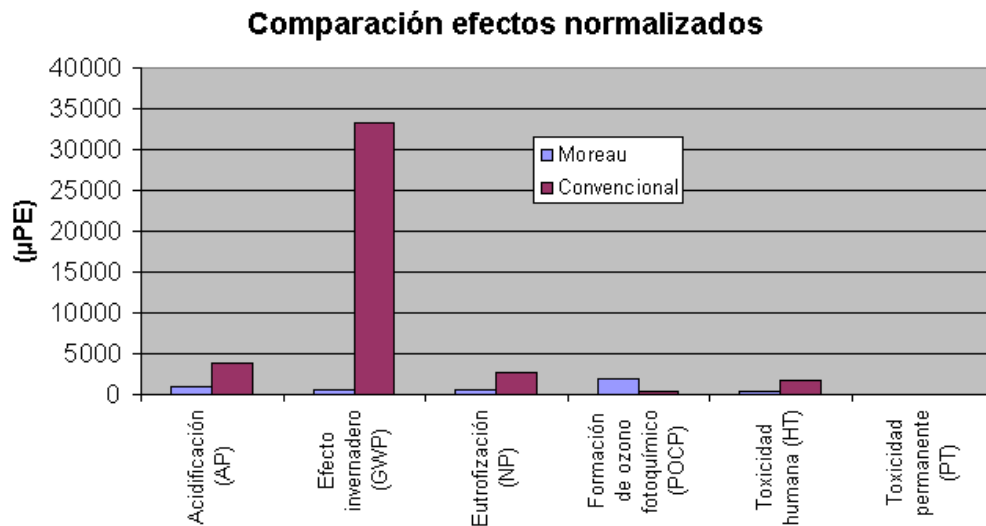


Fig. 6. Comparación de efectos normalizados. Caso de cocción de ladrillos con biomasa.

5 Conclusiones

Se han evaluado desde el punto de vista energético y ambiental distintas tecnologías diseñadas para disminuir los consumos energéticos en escuelas de zonas áridas

andinas. Se demuestra que las tecnologías adoptadas producen los efectos deseados, a la vez que se ejemplifica la potencia de los métodos de análisis como el ACV, que permiten comparar alternativas en modo riguroso y científico y a su vez detectar causas de efectos indeseados, mostrando el modo de eliminarlos o disminuirlos.

6 Referencias bibliográficas

Adalbert, K. (1997). *Energy use during the Life Cycle of Buildings: a method*. Building and Environment, Vol 32, N. 4 (317-320)

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).

Goulding, J., Owen Lewis, J., Steemers, T. (1992). *Energy in Architecture*. The European Passive Solar Handbook. CEE

Worrell, E., van Heijningen, J., de Castro, J., Hazewinkel, J., de Beer, J., Faaij, A., Vringer, K. (1994). Energy, Vol 19, N. 6 (627-640).

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).