

## **EVALUACIÓN AMBIENTAL COMPARATIVA DE MATERIALES MAMPUESTOS APLICADOS EN MUROS DE VIVIENDAS EN REGIONES ÁRIDAS ANDINAS.**

Mitchell, J., Arena, A.P.

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](mailto:aparena@lab.cricyt.edu.ar)

**RESUMEN** La construcción de viviendas requiere gran cantidad de materiales, cuya fabricación determina un importante impacto sobre el ambiente. En nuestro país las construcciones de mampostería son sin duda alguna las que dominan el sector, lo que muestra la importancia de encontrar alternativas en este ramo de la construcción. El objetivo de este trabajo es el de comparar el impacto ambiental relacionado con el uso de ladrillos tradicionales de arcilla en los muros de una vivienda situada en la localidad de Medrano, en el departamento de Junín (provincia de Mendoza), con el de ladrillos alternativos de arena-cemento que no requieren cocción ni otro tipo de energía para su elaboración, utilizando como método el Análisis del Ciclo de Vida. Se analiza además el impacto correspondiente a la aislación de muros externos de la vivienda. Los resultados indican considerables beneficios asociados al uso de ladrillos de arena-cemento y a la aislación de muros externos.

**Palabras clave:** Vivienda, muros, materiales alternativos, aislación, impacto ambiental, Análisis del Ciclo de Vida.

### **INTRODUCCIÓN**

Los países que son clasificados como “en vías de desarrollo” presentan una alta heterogeneidad entre sí, pero poseen algunos rasgos comunes que permiten clasificarlos dentro de ese mismo grupo. Una característica común a los países en vías de desarrollo es la de poseer un alto porcentaje de necesidades habitacionales insatisfechas. Otro aspecto importante es que presentan una tasa de crecimiento demográfico notablemente superior al correspondiente a los países desarrollados. Estos dos aspectos considerados en modo conjunto determinan un cuadro crítico, ya que el segundo determina que en el futuro el problema del déficit habitacional se agrave si no se destinan ingentes cantidades de recursos para contrarrestarlo, lo cual es obviamente muy difícil para estos países.

Por otra parte 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.). Si se introduce la variable ambiental en este compendiado análisis el escenario se oscurece aún más, ya que la mayor parte de estos países presentan un rápido deterioro de su riqueza ambiental, poseen instituciones débiles y escasa o nula información, monitoreo y análisis ambiental. Por lo tanto, si se dieran todas aquellas anheladas circunstancias que permitieran la mitigación del problema habitacional, se prospectaría un complicado panorama desde el punto de vista del consumo de recursos y de la generación de residuos.

Es necesario por lo tanto buscar las alternativas constructivas más eficientes, económicas y benignas desde el punto de vista ambiental, para lograr desde el diseño de las viviendas tender hacia el objetivo del desarrollo sustentable y de la mejora de la calidad de vida. En este sentido adquiere gran importancia la elección de los materiales que se utilizan en la construcción de las viviendas, ya que pequeñas mejoras comparativas que se obtengan en ellos determinan un notable impacto, al considerar la gran cantidad empleada en un edificio, y la enorme cantidad de viviendas requeridas año a año. Esto determina que las decisiones que toma el proyectista posean un gran impacto sobre el contexto energético-ambiental de la sociedad, y para poder escoger adecuadamente esas decisiones debe tener a disposición no sólo alternativas tecnológicas válidas, sino información adecuada y objetiva sobre las mismas, e instrumentos que le permitan evaluarlas de un modo integral. El análisis del ciclo de vida es uno de estos instrumentos, que permite llevar a cabo las evaluaciones comprendiendo los impactos ambientales ocurridos durante todas las etapas del ciclo de vida del sistema evaluado.

### **METODOLOGIA**

El método del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es quizás el más difundido 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: construcción, uso y desmantelamiento final.

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.

Las fases o etapas que constituyen un Análisis del Ciclo de Vida, las cuales son descriptas en la norma ISO 14.040, son:

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

El uso del ACV en el sector edilicio puede servir para seleccionar materiales con menor impacto ambiental y para optimizar el uso de recursos adoptando nuevas soluciones proyectuales que optimicen la relación entre la envolvente y el ambiente externo, individualizando virtudes y defectos de las elecciones proyectuales durante la construcción, vida útil y desmantelamiento y descarga al final.

### EL CASO ANALIZADO

En este estudio se utiliza el método del análisis del ciclo de vida para la selección de materiales con menor impacto ambiental. Se desea conocer cuáles son las ventajas y desventajas del uso de ladrillos de arena-cemento en lugar de ladrillos tradicionales para la construcción de muros en viviendas ubicadas en la localidad de Medrano, en el departamento de Junín, provincia de Mendoza. Este tipo de ladrillos alternativos poseen la característica de no requerir cocción, y son producidos directamente en el lugar de construcción, sin requerir energía. Poseen en cambio cemento en su composición, lo que implica una serie de consecuencias ambientales por el proceso de producción del clinker y posteriormente del cemento, a partir de la materia prima (caliza, yeso, esquistos, óxido de hierro), para lo cual se consume una gran cantidad de energía térmica y eléctrica. Se pretende determinar cuál de las dos alternativas es más benigna desde el punto de vista ambiental.

### DESCRIPCIÓN

Las conclusiones de la cumbre de Hábitat II, realizadas en Estambul (1996), tiene por objetivo promover el desarrollo de asentamientos humanos sostenibles. Para ello recomienda la utilización de fuentes de energía renovables con el fin de lograr mejores condiciones ambientales en el interior de las viviendas.

Los componentes que se analizan en el trabajo, corresponden al proyecto de las viviendas de un asentamiento rural, al que se le incorporaron pautas de diseño bioclimático, como resultado de talleres de diseño participativos. Se trata del conjunto de viviendas "Calle Caballero" en un enclave rural del oasis norte de Mendoza. La particularidad del proyecto consiste en el diseño con la gente (Mitchell, 1996 al 1999), lo que posibilitó la recuperación de una tipología de vivienda rural de adobe, que se adecua a sus modos de vida, incorporándose innovaciones en el diseño y en su tecnología constructiva con el aval de sus futuros usuarios. La vivienda se organiza en un esquema "U" que rodea al espacio semicubierto (parral o galería) y orientada al norte. Posee pleno asoleamiento y los espacios ubicados al sur recibe radiación solar a través de ventanas altas por diferencia de techos.

La vivienda posee los siguientes espacios cubiertos: estar, cocina comedor, tres dormitorios, baños y lavandería-depósito. En la figura 1 se representa una vista en planta de la vivienda, así como su la fachada norte y su corte.

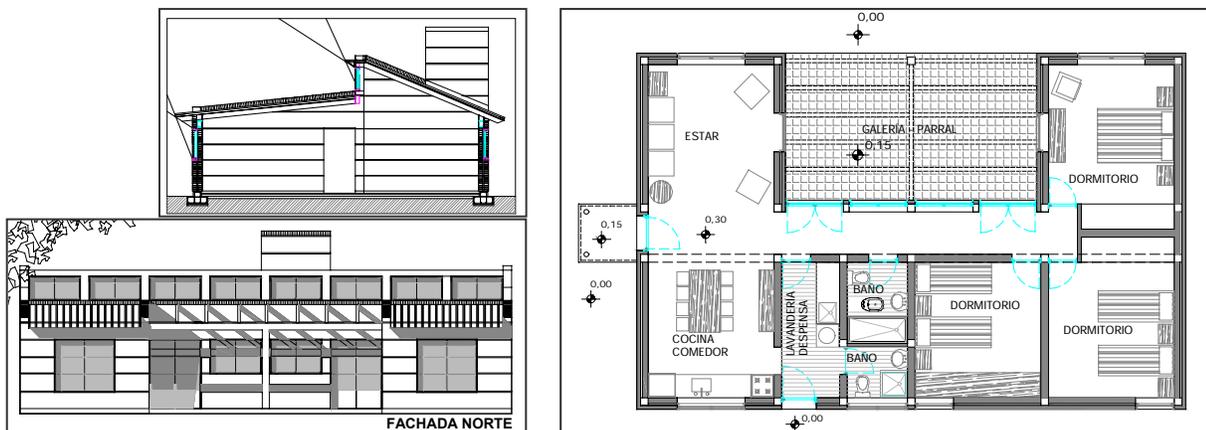


Figura 1. Vivienda analizada: Planta, corte y Fachada Norte.

Sobre este esquema de vivienda se considerarán cuatro casos alternativos de construcción de muros perimetrales: dos con ladrillos tradicionales y dos con ladrillos de arena-cemento, en un caso sin aislamiento y en otro con aislamiento. Una representación esquemática de los cuatro muros analizados se presenta en la Figura 2

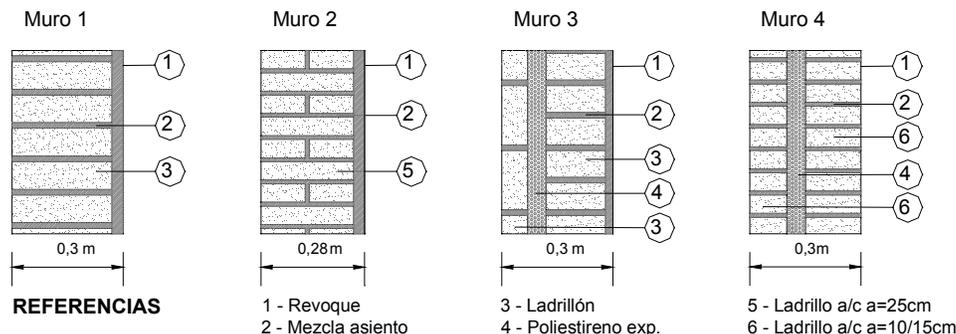


Figura 2. Esquema de los cuatro muros analizados

### LA DEFINICIÓN DEL SISTEMA

La definición del sistema es la primera etapa del Análisis del Ciclo de Vida, y 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 producido por la construcción de los muros de un edificio, de superficie 88 m<sup>2</sup> destinado a uso vivienda, incluyendo sus áreas de servicio, de duración útil 50 años, comprendiendo las pérdidas de energía para calefacción de las viviendas durante el período invernal que se producen durante su vida útil*. El análisis se efectúa, siguiendo esta definición, para los cuatro casos enunciados. De esta definición se deduce que no se incluirán en el análisis todos los demás componentes de las viviendas (fundaciones, techos, carpinterías, pisos, etc.), ya que son idénticas en los dos casos comparados. Esta definición se adapta por lo tanto a los objetivos del estudio, pero los resultados no serán utilizables para comparación con otros edificios que posean una definición de unidad funcional diferente. De acuerdo con el objetivo del estudio, no se pretende analizar los procesos productivos de la infraestructura sobre la que se apoya el sector, por lo que no se tomarán en cuenta 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.), 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 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 tomada en cuenta.

Los casos considerados poseen las mismas características funcionales (superficie habitable, nivel de confort higrotérmico y lumínico), duración, uso y ubicación. Esto último determina que no se incluyan en el análisis la producción de contaminantes debido al transporte de las personas, materiales y residuos domésticos durante la fase de uso de las viviendas.

Para el cálculo del consumo energético por calefacción asociado a cada uno de los casos se utilizó el método SLR del LANL (Balcomb et al 1983), utilizando los datos climáticos correspondientes al lugar de emplazamiento (1450 GD base 18).

### RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos de la etapa de Inventario del análisis constituyen una gran masa de datos sobre materiales y energía consumida y efluentes producidos, cuya magnitud hace difícil la interpretación. Por este motivo se han elaborado esos resultados, expresándolos en unidades comparables, para lo cual se ha adoptado el método de normalización de la persona equivalente, que relaciona un determinado impacto ambiental con el valor promedio de ese impacto a nivel mundial (o local) por cada habitante (Wenzel et al. 1997). Dado que no existen datos sobre emisiones por habitante para la Argentina, se han utilizado factores de normalización correspondientes a la situación europea. Los resultados han sido expresados en millonésimas de persona equivalente. Esto forma parte de la etapa de Evaluación de Impactos del método del Análisis del Ciclo de Vida.

En la Figura 3 se representan los perfiles ambientales correspondientes a 1 m<sup>2</sup> de muro, para las distintas configuraciones consideradas. La comparación se realiza entre pares equivalentes, es decir muro simple de ladrillón tradicional (1) con muro simple de ladrillo de arena-cemento (2) y muro compuesto de ladrillón tradicional (3) con muro compuesto de ladrillo de arena-cemento (3). Se observa que el perfil ambiental de los muros construidos con ladrillos de arena-cemento es notablemente mejor que el de correspondiente a los muros constituidos con ladrillos tradicionales prácticamente en todos los impactos analizados, siendo el impacto de los muros de ladrillones tradicionales varios veces superior al de los de arena-cemento, con la excepción del potencial de producción de efecto invernadero. Esto se debe a que se ha supuesto que la leña con la que se provee la energía térmica para la cocción de los ladrillones tradicionales proviene de plantaciones planificadas, por lo que producen una emisión

neta de CO2 neta nula durante su ciclo de vida crecimiento-tala-combustión. Sin embargo esto no es cierto en la mayoría de los casos, ya que se utiliza leña de algarrobo local sin reposición, lo que contribuye al fenómeno de desertificación, obviamente un problema grave en una zona árida como la analizada.

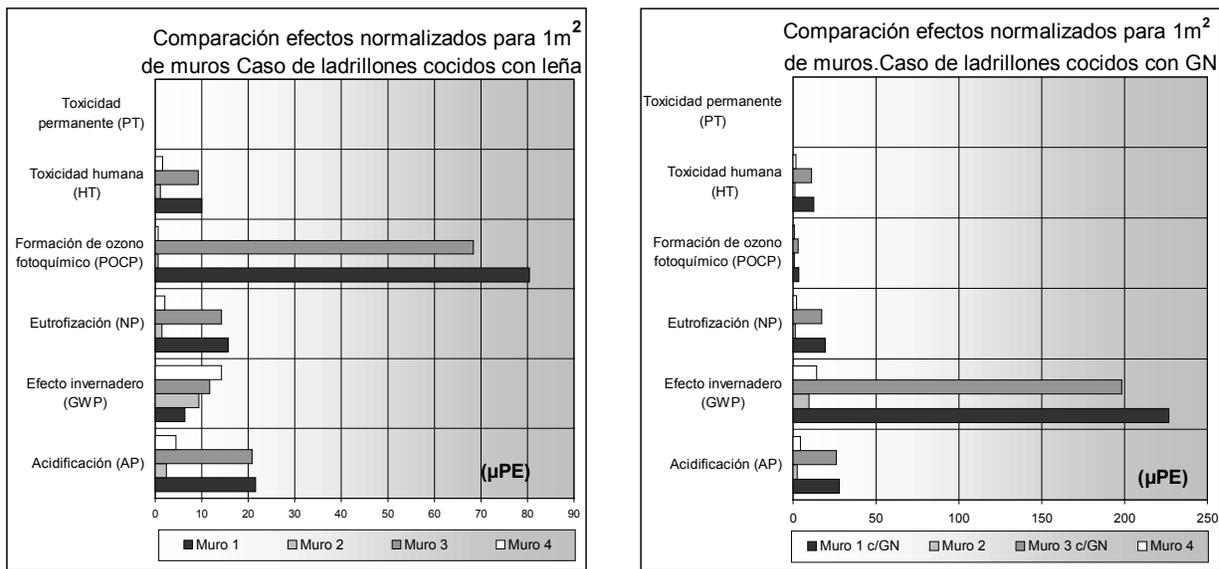


Figura 2. Izq. Perfiles ambientales (en μPEq) correspondientes a 1 m<sup>2</sup> de muros. Der.: Idem con hipótesis de cocción de ladrillos con GN. Símbolos utilizados: AP: Acidificación, GWP: Efecto invernadero, NP :Eutrofización, POCP: Formación de ozono fotoquímico, HT: Toxicidad humana, PT :Toxicidad permanente

Con el propósito de comparación, atendiendo a los crecientes esfuerzos de los municipios para erradicar la producción de ladrillos en modo artesanal (esfuerzos resistidos por los actuales actores de esta industria que ven peligrar su fuente de trabajo), se investigó cuál sería la situación si en lugar de leña se utilizara gas natural para la cocción, con los mismos rendimientos energéticos. Estos resultados han sido reportados en la figura (derecha). Se observa en este caso que el efecto invernadero asociado a la cocción de los ladrillos asume un rol preponderante en confrontación con los demás impactos ambientales analizados, y que en esta situación el uso de ladrillos de arena-cemento adquiere aún mayor atractivo desde la perspectiva ambiental, ya que no requieren energía para su producción. El pequeño valor de producción de efecto invernadero asociado a los muros construidos con estos ladrillos se debe a que en su composición poseen cemento, el cual requiere cantidades de energía para su producción, lo cual trae aparejado la emisión de CO<sub>2</sub>.

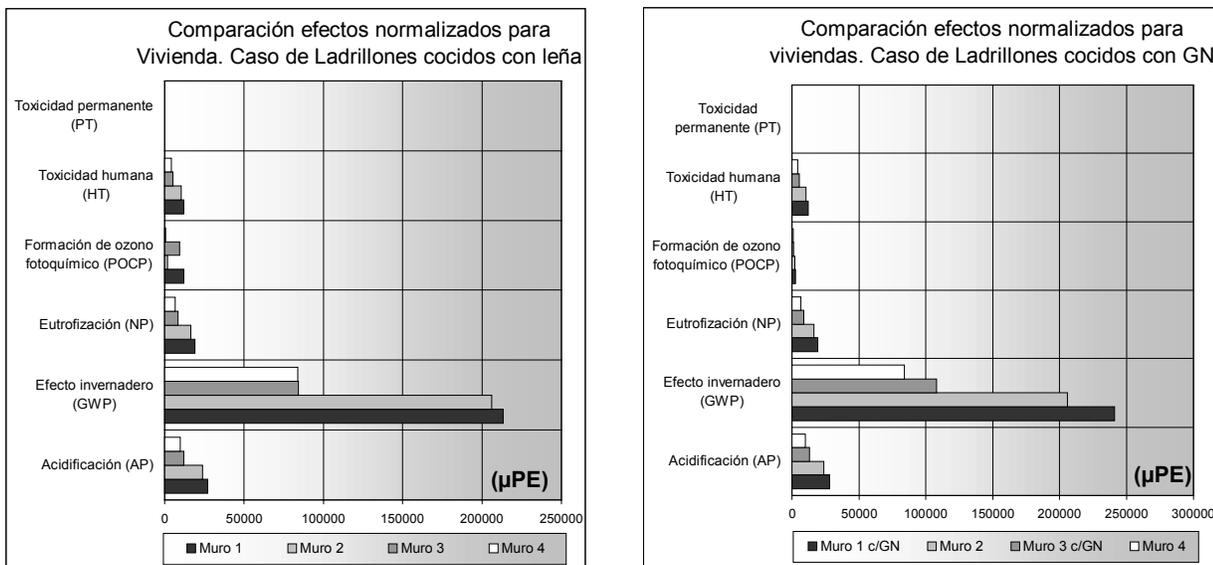


Figura 1. Perfiles ambientales (en μPEq) muros de la vivienda considerada. Izquierda: cocción de ladrillos con leña. Derecha: cocción de ladrillos con gas natural.

Los perfiles ambientales analizados hasta ahora representan únicamente los impactos asociados a la fase de fabricación de 1 m<sup>2</sup> de muro, considerando desde la extracción de la materia prima hasta la erección del muro. En la figura siguiente se analiza el perfil ambiental correspondiente a la definición de Unidad Funcional adoptada para este trabajo y explicitada anteriormente. Se considera por lo tanto toda la superficie de los muros externos de la vivienda (127 m<sup>2</sup>), para los cuatro casos considerados. Como en el análisis precedente, se muestran los resultados para dos situaciones alternativas: cocción de ladrillos con leña y con gas natural, los cuales han sido representados en la parte izquierda y derecha de la citada figura respectivamente. De la comparación de estas figuras con las anteriores resulta obvio que la diferencia entre ambos conjuntos no es sólo un factor de escala por la diferencia de superficie considerada en cada una de ellas, sino que en la última figura interviene además la influencia ambiental correspondiente a las pérdidas de energía por calefacción producida durante los períodos invernales de los 50 años de vida útil considerados. De este modo se incorpora la fase de uso de la vivienda en el análisis. En la figura de la izquierda se observa que existen ligeras ventajas ambientales para el caso de las viviendas cuyos muros han sido contruidos con ladrillos de arena-cemento, para todas las categorías de impacto consideradas. La gran carga ambiental producida por el uso de energía de origen fósil para calefacción hace que las importantes diferencias existentes entre los materiales constitutivos de los muros pierdan el protagonismo inicial. En el caso de cocción de ladrillos con gas natural se observa que aparecen diferencias importantes en el potencial de calentamiento global, que alcanzan el 17 % para los muros simples y el 29 % para los compuestos. Diferencias similares se encuentran en las restantes categorías ambientales. Se observan además, comparando los perfiles de los casos 1 con 3 y 2 con 4, los importantes beneficios ambientales derivados de la aislación de los muros externos de las viviendas, que superan el 100 % en todas las categorías ambientales estudiadas.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Se observa que los ladrillos de arena-cemento descritos en este trabajo representan una alternativa a los ladrillos tradicionales que mayoritariamente componen los muros de las viviendas en la región, que comporta un importante beneficio desde el punto de vista ambiental. Las diferencias que presentan estos ladrillos en las categorías ambientales consideradas son muy importantes en magnitud, al considerar el impacto de un m<sup>2</sup> de muro construido con uno y otro tipo de ladrillo. Cuando se incluye en el análisis la fase de uso del edificio cuyos muros están constituidos por estos ladrillos las diferencias porcentuales se hacen menores, debido al gran peso del impacto ambiental relativo a la energía consumida para la calefacción de los ambientes de la vivienda considerada. Se debe tener en cuenta, sin embargo, que estas serían diferencias porcentuales relativamente pequeñas pero sobre un número potencialmente muy grande de viviendas, por lo que el impacto potencial sobre el ambiente en términos reales sería muy grande.

Otro aspecto a considerar es que la fabricación local de ladrillos es realizada en gran parte en modo artesanal y precario, obteniendo la materia prima de zonas potencialmente cultivables y que una vez agotadas se abandonan y son utilizadas como vaciaderos clandestinos de residuos. La energía que se consume proviene de leña obtenida de los Algarrobos naturales locales, los cuales no son replantados con lo que se contribuye al fenómeno de la desertificación, problema por demás grave en una zona árida como la analizada. La cocción de los ladrillos efectuada de este modo produce una gran cantidad de elementos con malas características (ladrillos crudos), por lo que se consume mayor cantidad de materia prima, de energía y de mano de obra para cada unidad de ladrillo bien confeccionado. Estos aspectos no han sido cuantificados en el presente trabajo, ya que los datos existentes sobre el sector son escasos y muy dispersos, y se requiere un trabajo profundo de relevamiento para poder hacer estimaciones que tengan una buena relación con la realidad.

Otro aspecto que surge del análisis realizado es que adoptando muros aislados en la vivienda considerada se obtienen notables beneficios ambientales, al considerar todas las emisiones reducidas durante su vida útil estimada.

Se demuestra también la potencialidad del método del análisis del ciclo de vida para la evaluación energética y ambiental del uso de materiales alternativos en el sector edilicio. Esta búsqueda de materiales más benignos ambientalmente a través de herramientas de análisis como el del Ciclo de Vida es conocida como "Ecomaterials". Se observa cómo es posible poner en evidencia los impactos ambientales que cada elección 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. Sin duda, lo que es más dañino para el ambiente es la ignorancia acerca de las características ambientales de los sistemas, productos y servicios con los que se interactúa. La aplicación del Análisis del Ciclo de Vida en este caso ha permitido:

- 1) cuantificar el impacto energético y ambiental de la fabricación de dos materiales constructivos alternativos;
- 2) evaluar la influencia ambiental de estos dos materiales durante toda la fase de uso de la vivienda en la que son aplicados
- 3) cuantificar la mejora ambiental introducida por la aplicación de aislantes térmicos en muros externos contruidos con ambos tipos de ladrillos;
- 4) rastrear los procesos responsables de los efectos observados.

## ABSTRACT

The building of dwellings requires huge amounts of materials, most of them involve a great environmental impact during their production. Most of the buildings in Argentina are constructed using masonry, and it is crucial to find good alternatives from the environmental point of view within this branch of the building sector. The aim of the present work is to compare the environmental impact related with the use of traditional clay bricks in the walls of a dwelling located in Medrano, in the department of Junin (Mendoza), with that produced by alternative cement-sand bricks which require no energy for baking or any other form of energy, using the Life Cycle Assessment method. The environmental impact of the application of insulation in the external walls is also investigated. The results show that great benefits can be obtained when cement-sand bricks are used, and when the external walls are insulated.

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

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

Wenzel, H., Hauschild, M., Alting, L (1997). *Environmental assessment of Industrial Products*, Chapman & Hall, UK.

Mitchell, Jorge (1996) *Propuesta de mejoramiento de las condiciones del confort térmico interior del Hábitat Social a partir de sobrecosto cero*". Actas XIX Reunión de ASADES, Mar del Plata. Argentina.

Mitchell, Jorge y Gascón, Margarita (1998). *Teaching peasants how to build more efficient houses. The experience of organizing workshops in a rural area of Mendoza, Argentina*. Proceedings of the Sixth International Symposium on Renewable Energy Education (ISREE-6 ) New Delhi, India.

Autor:

Mitchell, Jorge (1998) *Taller de vivienda social - Propuesta de mejoramiento de las condiciones ambientales interiores del Hábitat*. Revista AERMA, Salta. Argentina. Vol.II, pp.03/79-82.

Jorge Mitchell

Mitchell, Jorge (1999). *Transferencia a trabajadores rurales de conocimiento sobre sistemas pasivos de energía para la autoconstrucción de su vivienda rural. Talleres con una ONG del departamento de Junín, Mendoza, Argentina*. Presentado en ponencia y publicado en las Actas de la Conferencia Científica Internacional Medio Ambiente Siglo XXI. Universidad Central de las Villas, Santa Clara, Cuba.