

## **ANÁLISIS DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA DE ALTERNATIVAS CONSERVATIVAS Y BIOCLIMÁTICAS DE DISEÑO DE VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA REGIÓN DE MENDOZA.**

**Arena, Pablo<sup>1</sup>, Arboit, Mariela<sup>2</sup>; y de Rosa, Carlos<sup>3</sup>**

Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA). Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda.  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Tel. 0261-5244054 –e-mail: [aparena@frm.utn.edu.ar](mailto:aparena@frm.utn.edu.ar)  
Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza.

**RESUMEN:** se presentan los resultados de la evaluación económica de la aplicación de estrategias conservativas y bioclimáticas a una vivienda de interés social en la Provincia de Mendoza. Para ello se consideran los mayores costos iniciales, y se los contrasta con los ahorros en conceptos energéticos producidos durante toda la vida de la vivienda. Se utiliza el método del Costo del ciclo de Vida, y se plantean distintos escenarios, elaborados asumiendo distintas tasas de retorno, distintos aumentos futuros del costo de la energía, y distintos horizontes temporales. Los resultados muestran que, a pesar de que las condiciones tarifarias imperantes en el país no favorecen la implementación de medidas de conservación de energía o de aprovechamiento de las fuentes renovables, en el caso analizado resulta que la alternativa bioclimática presenta ventajas económicas en una amplia variedad de escenarios, excepto cuando el período de vida útil es demasiado corto, y los escenarios poseen altas tasas de retorno sin aumentos de los costos de energía.

**Palabras clave:** análisis de costo de ciclo de vida, bioclimática, vivienda social.

### **INTRODUCCION**

Desde finales del siglo XX, y con mayor vigor a partir del nuevo siglo, se han multiplicado las preocupaciones referidas al desarrollo y sus consecuencias en términos de sustentabilidad. De ello ha derivado una intensa actividad metodológica, conceptual, y estructural, que ha producido nuevas tecnologías y materiales destinados a modificar el rumbo insustentable actual, o al menos a mitigar sus efectos.

Entre las distintas orientaciones que se han originado en los últimos decenios, han cobrado mayor credibilidad en el ámbito científico aquellas que han adoptado una óptica abarcativa, que expande el foco tradicional de los procesos de manufactura para incorporar todos los aspectos asociados con el producto durante todo su ciclo de vida, en tres dimensiones: ambiental, social y económico.

El ecodiseño se centra en los aspectos ambientales principalmente, adoptando un conjunto de estrategias proyectuales y tecnológicas con el objetivo de minimizar los impactos de los procesos involucrados en la misma, sobre los ecosistemas naturales, con una óptica de ciclo de vida. Dentro del ecodiseño, y ya en el ámbito del sector edilicio, se encuentra el diseño bioclimático, que se focaliza en la etapa de uso de los edificios, y en un aspecto ambiental: el consumo de energía. Si bien estos aspectos podrían aparecer como limitaciones excluyentes, considerando que el perfil ambiental de los bienes durables, como lo son precisamente los edificios, muestra una fuerte influencia de la etapa de uso sobre el total de los impactos producidos, y que el consumo de energía de los edificios es uno de los principales problemas ambientales de nuestra época, se concluye que el bioclimatismo posee una fuerte legitimidad conceptual y fundamentalmente práctica, posibilitando por sí sola la consecución de importantes mejoras.

La arquitectura bioclimática, cuando está bien concebida, es además efectiva desde el punto de vista del costo, reduciendo los gastos operativos y de mantenimiento. Potencialmente pueden solucionar problemas como:

- Costos crecientes de la energía eléctrica y térmica
- Limitaciones en la capacidad de distribución de las redes energéticas (eléctricas, de gas natural, etc.)
- Limitaciones en la provisión de agua potable, tanto en cantidad cuanto en calidad.
- Costos crecientes asociados con el cambio climático
- Problemas de salud (alergias, asma) asociados a los edificios
- Costos crecientes de operación y mantenimiento de los edificios.

---

<sup>1</sup> Investigador Asistente CONICET

<sup>2</sup> Becaria de Formación Doctoral CONICET

<sup>3</sup> Investigador Principal CONICET

Medir el impacto económico de estos edificios en forma completa es difícil. Algunos beneficios son relativamente fáciles de detectar y de cuantificar, como los ahorros de energía consumida. Pero también existen otros ahorros, asociados a distintos factores que un diseño bioclimático adecuado mejora. Uno de ellos es la calidad de aire interior, que cuando es deficitaria es responsable de costos por mayor ausentismo, mayores gastos por enfermedades respiratorias, alergias, asma, estos costos son difíciles de medir, y están escondidos en los días de licencia por enfermedad, los seguros de salud de los empleados, y los costos médicos. Otros costos evitados son los asociados a la disminución de la contaminación del aire producida por la combustión de combustibles en la generación de energía eléctrica, que produce grandes costos en daños a la salud (mayor mortalidad y enfermedades respiratorias), el ambiente y la propiedad, pero no están reflejados en el precio de la energía, por lo que se los denomina externalidades. Su evaluación es técnicamente difícil, políticamente problemática, y la exactitud es discutible. Otros beneficios económicos derivan del aumento de la productividad. Aunque no existe un método estándar para estimar el impacto en la productividad causado por un edificio sustentable, y el incremento de productividad sea difícil de medir y de asignar a una causa determinada, un número creciente de estudios muestran una correlación positiva entre las mejoras en la ventilación, iluminación, acceso a la luz natural y control de la temperatura y la productividad, el ausentismo y asuntos relacionados (Heschong Mahone Group, 1999, Heerwagen J., 2000, Fisk et al 2003).

Otro aspecto económico asociado se debe a la disminución en el consumo de energía de pico, lo que evita la necesidad de incrementar la infraestructura de generación, transporte y distribución de energía eléctrica.

Como se señaló, exceptuando los costos directos asociados al ahorro energético producido durante el uso de los edificios, los demás son difíciles de cuantificar. Este inconveniente se suma a una percepción generalizada entre los empresarios del sector de la construcción acerca de que los edificios bioclimáticos sustentables son significativamente más costosos que los tradicionales, ya que en muchos casos tienen asociados costos iniciales más altos que sus equivalentes tradicionales. Muchas estrategias y tecnologías novedosas son descartadas en etapas iniciales del proyecto por ser consideradas inseguras o muy costosas. La percepción es que el retorno de la inversión no es atractivo.

A pesar de estos aspectos que dificultan la difusión de proyectos bioclimáticos, un diseño bien desarrollado puede producir ahorros energéticos que compensen largamente los costos iniciales adicionales, y constituir una inversión de una alta rentabilidad. Para ello es necesario evaluar los proyectos con una metodología de análisis costo beneficio adecuada, que contemple los flujos de fondos (costos y beneficios) producidos durante todo el ciclo de vida del edificio.

## **METODOLOGÍA**

El Análisis del Costo del Ciclo de Vida-CCV (Life Cycle Costing-LCC) es un método de evaluación económica adecuado para proyectos en los cuales se invierte en mayores costos iniciales para lograr menores costos futuros. El método es particularmente útil para la evaluación de proyectos alternativos que satisfacen un determinado nivel de desempeño del edificio (confort interior, seguridad, respeto de los códigos, confiabilidad, estética, etc.) pero que poseen distintos costos de inversión inicial, de operación, de mantenimiento, reparación, etc. Su aplicación típica es cuando los beneficios producidos son obtenidos principalmente como una reducción en los costos de operación, sin variación apreciable en el nivel de servicio, donde lo que se persigue es identificar el proyecto con el menor costo de ciclo de vida. Un ejemplo lo constituyen los proyectos de conservación de energía, los cuales aumentan en general los costos iniciales de inversión. En estos casos el CCV puede determinar si estos proyectos son justificables económicamente desde el punto de vista del inversor, basados en el menor consumo de energía y otras implicaciones económicas durante la vida útil del proyecto.

El método del CCV requiere que todos los costos y los beneficios (ahorros) relacionados con una decisión de proyecto sean evaluados en un período de estudio común, y que sean ajustados en función del valor temporal del dinero (actualización de los costos y beneficios), para que su comparación con otra alternativa de proyecto sea significativa. Por ello contrasta con el método del Período de Retorno, que es una medida de cuán rápido se recupera la inversión inicial. El CCV requiere más información, además de una comprensión más profunda de conceptos tales como flujos de caja descontados, moneda constante y corriente, tasas de aumento de precios, inflación, etc. La cantidad y calidad de la información adicional provista por el CCV para la toma de decisiones justifica ampliamente ese pequeño esfuerzo adicional.

### *Estudio de casos*

Se analizan a continuación distintos escenarios para realizar la evaluación económica de tres tipologías de vivienda social planteadas, considerando los costos de inversión y los costos energéticos por calefacción de la vivienda durante toda la vida útil de los edificios. (Figuras 1 y 2). Para cada tipología se estudia la situación: 1. Convencional (niveles usuales de conservación de energía), 2. Conservativa: Convencional + reciclaje energético (adicionando aislación térmica en los componentes de la envolvente) y, 3. Solar: Conservativa + Solar (aumentando superficie de aberturas al Norte y disminuyendo la transmitancia térmica de los componentes de la envolvente).

Para llevar a cabo esta evaluación se realizó el cálculo del consumo anual de energía por calefacción, siguiendo el método SLR del LANL (Balcomb et al 1983), utilizando 1384 grados días de calefacción en base 18 (ciudad de Mendoza).

El costo de inversión para la alternativa conservativa es de un 26 % superior al de la convencional, y de un 19 % para la solar, en la vivienda 1. Para la vivienda 2 estos valores ascienden a un 36 y un 28 % respectivamente. Las figuras N° 3 y 4 muestran los costos para cada alternativa.



Figura N° 1: Vivienda: 1 Planta

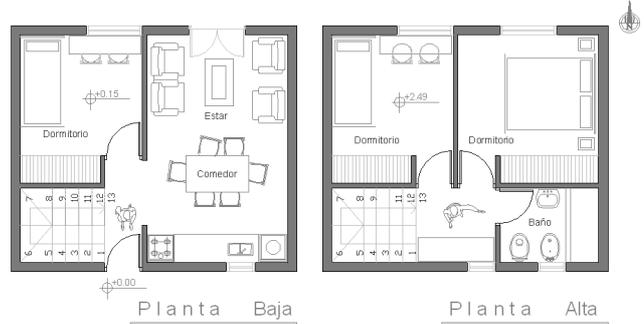


Figura N° 2: Vivienda: 2 Plantas

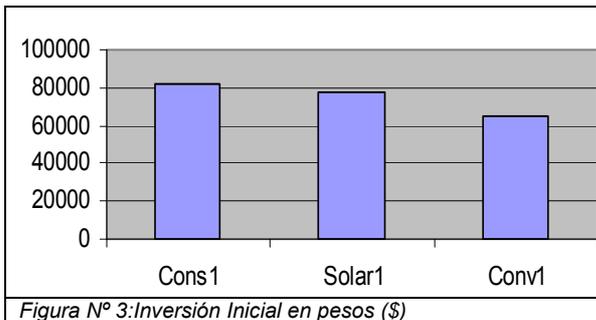


Figura N° 3: Inversión Inicial en pesos (\$)

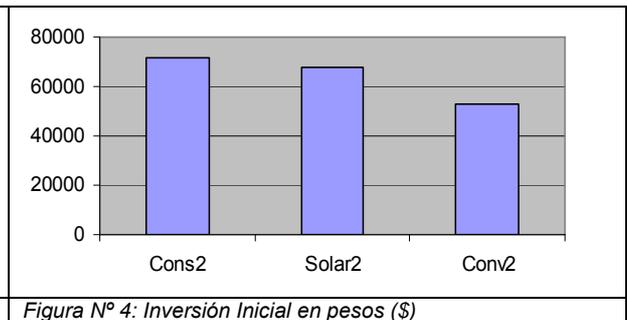


Figura N° 4: Inversión Inicial en pesos (\$)

El costo de la energía consumida (gas natural) fue estimado en un valor medio de 17,7 centavos por m<sup>3</sup> incluyendo IVA y sin impuestos adicionales, según la información suministrada por la compañía distribuidora local.

Las Figuras N° 5 y 6 representan los consumos anuales de energía para calefacción para todos los esquemas considerados. Se observa que el esquema conservativo de la vivienda 1 consume apenas un 17 % de lo que requiere el convencional, mientras el solar es aún menor, del 11 %. En la vivienda 2 los consumos son del orden del 14 y del 7 % para los esquemas conservativo y solar respectivamente, referidos al convencional.

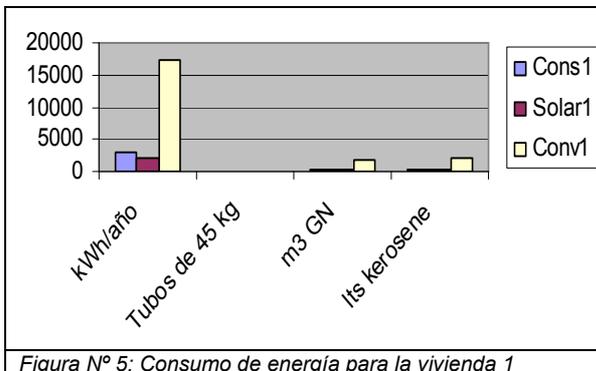


Figura N° 5: Consumo de energía para la vivienda 1

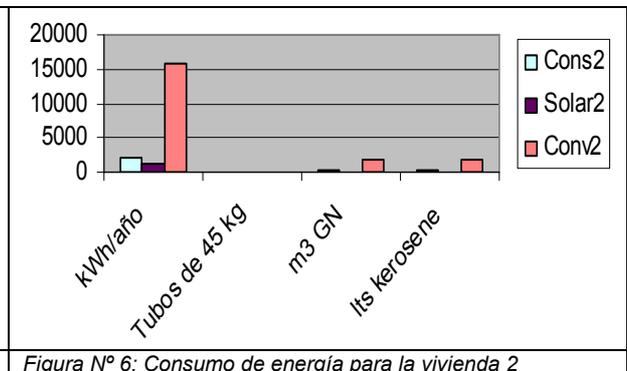


Figura N° 6: Consumo de energía para la vivienda 2

El objetivo ahora es estudiar desde la perspectiva del costo del ciclo de vida cuál es la relevancia de este importante ahorro energético obtenido durante toda la vida útil frente al aumento de costo inicial requerido. Para el cálculo se hace la hipótesis que no existe diferencia de costos de mantenimiento, ni declinación anticipada en la eficiencia del edificio con el tiempo entre las distintas alternativas. No se incluyen los costos de demolición, ya que son similares en todos los casos. Del análisis de costos de inversión y de los ahorros, se deduce sin necesidad de cálculos que la vivienda conservativa nunca será conveniente frente a la solar, ya que resulta más costosa y produce menores ahorros energéticos.

### Escenarios

Se plantean escenarios que incluyen variaciones en las tasa de retorno ( $T_r$ ) y en la tasa de aumento de la energía ( $T_e$ ). Los cálculos se efectúan considerando cuatro distintos valores de tasas de retorno: 0%, 2%, 5% y 10%, y cuatro distintos valores de tasas de aumento anual de la energía: 0%, 2%, 5% y 10%.

La suposición de que no se registrarán aumentos del precio real de la energía (es decir, prescindiendo de la inflación, y con relación a otros bienes y servicios) durante la vida útil de los edificios seguiría la posición de aquellos que sostienen que hay abundancia de combustibles para varias décadas más, y que no se producirán aumentos. Por otra parte considera improbable que en el futuro haya más disponibilidad de combustibles que la actual, por lo que tampoco habría una disminución de precios. Desde este punto de vista, los cálculos hechos sobre esta base estarían así subestimando la bondad de las medidas conservativas por el hecho de no contemplar aumentos futuros de la energía.

La consideración de una tasa de descuento nula no considera la diferencia temporal del valor del dinero, lo que por un lado va de acuerdo con quienes sostienen que las inversiones que se realizan con fines de preservar condiciones del planeta adecuadas para las próximas generaciones no deben tener una tasa de retorno de mercado. Por otra parte, refleja en cierta medida las condiciones actuales del mercado argentino, donde gran parte de las alternativas de inversión poseen tasas reales de unos pocos puntos porcentuales, por lo que no se incurre en un gran error al estimarlas nula (en muchas alternativas de inversión clásicas, las tasas reales son incluso negativas).

La combinación de estos valores dan los siguientes pares Tr-Te (se eliminan las combinaciones de tasas coincidentes, excepto la primera, ya que los resultados son lógicamente idénticos):  
0-0, 0-2, 0-5, 0-10, 2-0, 2-5, 2-10, 5-0, 5-2, 5-10, 10-0, 10-2, 10-5

Por otra parte, se consideran distintos horizontes temporales, de 25, 50 y 70 años. El de 25 es un horizonte típico utilizado en comparación de ciclo de vida de edificios, dado que los inversores no están en general interesados por los beneficios que ocurren más adelante en el tiempo. 50 años es una duración de vida útil típica de edificios, aunque para las tecnologías que se están considerando, no es utópico pensar en 70 años, por lo que se lo incluye en los escenarios.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El escenario neutro, donde no se considera tasa de retorno (es decir, los flujos de fondo futuros valen tanto como los actuales) ni aumento de la energía, muestra que los ahorros acumulados en 25 años no son suficientes para compensar los costos adicionales de las construcciones conservativa y solar respecto de la tradicional, tanto para la vivienda tipo 1 como la tipo 2. Con 50 años en la vivienda tipo 1 resulta más conveniente la solar que la convencional, pero la conservativa resulta todavía más cara. La vivienda solar tiene un costo de inversión superior de \$12114, pero los costos energéticos en 50 años es de apenas \$ 1797 contra los \$ 16010 de la convencional, produciendo un ahorro neto de \$ 2099. La relación entre ahorro e inversión resulta de 1,17, y la tasa de retorno ajustada es del 0,32 %. El período de retorno es de 43 años.

En la vivienda tipo 2 en cambio, sigue siendo más económica la alternativa tradicional. Con 70 años, la vivienda 1 resulta más económica construida en modo solar, seguida de la conservativa, y por último la convencional. En la vivienda 2 la solar es la más conveniente, y la conservativa la más cara de todas.

Este escenario neutro es semejante al nacional actual, donde las alternativas de inversión no presentan tasas de retorno importantes en términos reales (incluso muchas tradicionales como los plazos fijos muestran tasas reales anuales negativas), excepto las inversiones de alto riesgo, que no son comparables con las inversiones en estrategias de ahorro energético edilicio, y donde los precios de los energéticos están prácticamente congelados, y con valores muy por debajo de los internacionales. En este contexto, la inversión en ahorro energético no resulta atractiva.

En un contexto donde los precios de la energía presentan aumentos reales por encima de la inflación (5 % anual), y con las mismas tasas de retorno nulas, la situación no cambia para la vivienda 2 para 25 años de período de estudio. Sigue resultando más económica la convencional, seguida de la solar, y luego de la conservativa, es decir, el mismo orden de costos que los de inversión, sin que los ahorros de energía produzcan alguna variación. En la vivienda 1 en cambio resulta conveniente la solar, pero la conservativa sigue siendo la más cara. Con 50 años los resultados son favorables para las estrategias solar y conservativa, en los dos tipos de vivienda, y con 70 años este orden se mantiene, con mayores diferencias a favor de la implementación de estas estrategias. Para el caso de la vivienda con 50 años, la solar presenta un ahorro por costos energéticos de \$ 62485 respecto de la conservativa, lo que determina un ahorro neto de \$ 50371. La relación ahorro inversión es de 5.16 en este caso, la tasa de retorno ajustada del 3,34 %, y el período de retorno de 23 años. En 70 años los ahorros netos ascienden a \$ 163547, la relación ahorro inversión a 14,5, la tasa de retorno ajustada a 3,89 %, y el período de retorno es claramente el mismo, de 23 años.

Con la misma tasa de aumento, pero con una tasa de retorno positiva aunque pequeña, del 2 %, en 25 años se vuelve a la situación anterior en la cual el orden creciente de costos de ciclo de vida es el mismo que el de los costos de inversión, para las dos tipologías de vivienda analizadas. En 50 años resulta favorable el diseño solar, seguida de la conservativa y la convencional, para las dos tipologías de vivienda. El ahorro neto producido por la estrategia solar es de \$ 20325, la relación ahorro inversión es de 2,68, y la tasa interna de retorno ajustado del 4,03 %. El período de retorno es de 23 años, y el período de retorno ajustado de 28 años. La conservativa presenta un ahorro neto respecto de la convencional de \$ 13307, con una relación ahorro-inversión de 1,78, y una tasa de retorno ajustada de 3,18 %. El período de retorno es de 29 años, y el ajustado de 36 años.

En 70 años la situación se repite, con mayores ventajas económicas para las estrategias solar y conservativa. El ahorro neto de la alternativa solar es de \$ 53625, y el de la conservativa de \$ 44451. La relación ahorro-inversión es de 5,43 y la tasa de ahorro ajustada de 4,49 % para la solar, y de 3,61 y de 3,89 % respectivamente para la conservativa. El período de retorno es de 23 años y el ajustado de 28 años para la solar, mientras que para la conservativa es de 29 y 36 años respectivamente.

Con esa tasa anual de aumento de la energía, pero con tasas de retorno reales del 5 %, los resultados son lógicamente los mismos encontrados que en el escenario neutro. Si la tasa de retorno es del 10 %, nuevamente el orden de costos sigue el mismo patrón que los de inversión, es decir, la más económica es la convencional, seguida de la solar, y luego de la conservativa, sin que los ahorros de energía produzcan alguna variación. Las altas tasas de retorno hacen que los ahorros futuros pierdan relevancia, por lo que no se aprecian grandes diferencias entre considerar 50 o 70 años como período de estudio.

Si en el futuro se presentaran tasas promedio de aumento del orden del 10 % anual, y con tasas de retorno del 5 % reales, para la vivienda tipo 2 en 25 años el orden es el de los costos de inversión, no siendo suficiente la influencia de los ahorros obtenibles a través del diseño solar o conservativo en esa cantidad de años para favorecer las inversiones necesarias con respecto al costo de la convencional. En la vivienda 1 en cambio, la solar es la más económica, pero la conservativa es más cara que la tradicional. En 50 años se obtiene el orden que favorece a las viviendas solares, seguidas de las conservativas, para ambas tipologías. En el caso de la vivienda 1 el ahorro neto para la alternativa solar es de \$ 45652, la relación ahorro inversión de 4,77 y la tasa interna de retorno ajustada del 8,33%. El período de retorno simple es de 17 y el ajustado de 24 años. En 70 años este orden se mantiene, aumentando las diferencias a favor de las estrategias solar y conservativa. El ahorro neto en ese caso es de \$ 53625, la relación ahorro-inversión de 5,43 y la tasa interna de retorno ajustada del 4,49 %, alcanzándose el retorno de la inversión en 23 años sin descontar, o en 28 años descontando los ahorros futuros al presente. Para la vivienda 2, el ahorro neto producido por la alternativa solar es de \$ 40023, la relación ahorro-inversión de 3,68 y la tasa interna de retorno ajustada del 7,77 %, con 19 años para recuperar la inversión sin descontar los ahorros, o 27 años descontando los ahorros futuros a valores presente.

## CONCLUSIONES

Los escenarios en los que no se produce un aumento del costo de la energía en los próximos años, o bien este aumento es pequeño, y con tasas de retorno altas, favorecen los esquemas de menor costo inicial, es decir, el esquema convencional. Aumentando el período a 50 años la solar empieza a ser conveniente, por tener menor costo de inversión que la conservativa. Si la tasa de retorno en cambio es contenida, el solar resulta más favorable, y si la tasa de aumento de la energía es elevada, también el esquema conservativo lo es.

Si bien el escenario mundial parece indicar que los precios energéticos van a continuar subiendo, y por lo tanto las estrategias conservativas y solar serán cada vez más una excelente inversión desde el punto de vista estrictamente económico (desde los otros, ya lo es), a nivel nacional la política económica no las está favoreciendo. Los índices de precios del sector de la construcción han registrado notables aumentos en la última década, mientras que los combustibles y la electricidad han permanecido prácticamente constantes, y en términos reales hoy cuestan menos que unos años atrás. No obstante estas condiciones desfavorables, del análisis realizado se desprende que aún planteando escenarios conservadores para el futuro, con tasas de aumento de la energía positivas y tasas de retorno contenidas, en el período de duración normal de una vivienda, las inversiones en estrategias solares y conservativas constituyen una excelente inversión, produciendo ahorros económicos importantes, mayores a las normales alternativas de inversión que poseen ciudadanos.

## REFERENCIAS

- Balcomb, J. et al. (1983): «*Passive Solar Design Handbook*». ASES. Boulder, Co. USA.
- Fisk, W, Kats, G (2003). “*Health and Productivity Gains from Better Indoor*” The Costs and Financial Benefits of Green Buildings A Report to California’s Sustainable Building Task Force.
- Heerwagen J. (2000) *Do Green Buildings Enhance the Well Being of Workers?*. Environmental Design and Construction Magazine. July/August. Available at: <http://www.edcmag.com/CDA/ArticleInformation/coverstory/BNPCoverStoryItem/0,4118,19794,00.html>
- Heschong Mahone Group (1999), *Daylighting in Schools: An Investigation into the Relationship Between Daylight and Human Performance*. Available at: <http://www.h-m-g.com>

**ABSTRACT:** the results of the economic evaluation of the implementation of bioclimatic and conservative strategies in social housing in the province of Mendoza are presented. The increased building and the savings in energy concepts produced throughout the life of housing are taken into account. The Life Cycle Costing method has been used for this purpose, taking into consideration different scenarios drawn up assuming different return rates, different future increases in the cost of energy, and different time horizons. The results show that, despite current energy rate conditions prevailing in the country are not conducive to implementing energy conservation measures or use of renewable sources, the bioclimatic alternative presents economic advantages in a wide variety of conditions, except where lifetime is too short, and scenarios with high return rates without increases in energy costs

**Keywords:** Life Cycle costing, bioclimatic, social housing.