

ANÁLISIS DEL COSTO DEL CICLO DE VIDA DE ESTRATEGIAS DE DISEÑO CONSERVATIVO EN EDIFICIOS ESCOLARES EN LA CIUDAD DE MENDOZA

Arena A. P., Basso, M., Fernández Llano, J.

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

Se evalúan desde el punto de vista económico cuatro alternativas de diseño de crujiás de aulas de edificios escolares, proyectados por esta UID. Las alternativas evaluadas para la ciudad de Mendoza presentan las mismas características funcionales y han sido diseñadas incorporando estrategias bioclimáticas. La evaluación se ha realizado considerando el ciclo de vida completo de los edificios (Life Cycle Costing, LCC). Estas cuatro alternativas son comparadas con otras idénticas que no poseen muros exteriores aislados, y con un edificio escolar que responde a la tipología convencional más usual en la provincia, sin consideraciones bioclimáticas en su diseño. Para el análisis económico se plantean distintos escenarios, que contemplan distintas tasas de retorno y de evolución del precio de la energía. Los resultados indican similar comportamiento para tres de las crujiás analizadas, y demuestran la escasa conveniencia económica de la aplicación de muros aislados en la localidad analizada para crujiás de aulas en edificios escolares.

Palabras clave: edificios escolares bioclimáticos, análisis del costo del ciclo de vida, aislación, costo de la energía.

INTRODUCCION

El Gobierno de la Provincia de Mendoza inició un programa para la construcción de escuelas, en el cual esta UID participó diseñando algunas de ellas empleando distintos esquemas de distribución. Las crujiás de aulas de estas escuelas se proyectaron respondiendo a 4 tipologías distintas, todas ellas diseñadas para lograr el máximo aprovechamiento de la energía solar. Las escuelas construidas poseen distinto número de aulas, por lo que se tomó en cada una de ellas una porción típica de la crujiá que incluye 6 aulas únicamente, distribuidas en una o dos plantas según el esquema adoptado. La figura 1 representa esquemáticamente un corte de todas las alternativas evaluadas, más un esquema de la tipología tradicional que más frecuentemente se encuentra construida en el medio. Éste último ha sido reformado para que sea funcionalmente equivalente, considerando el patio cubierto intermedio como un pasillo, y posee igual volumen interior que los otros esquemas analizados.

Las pautas para el diseño de las cuatro alternativas fueron:

- Idéntica superficie de aulas.
- Idéntica configuración espacial, exceptuando las de planta baja que obviamente tienen techos planos.
- Ancho de pasillos estipulado en la Ley Federal de Educación.
- Similar superficie de ventanas para calefacción, iluminación y ventilación en la medida que el esquema lo admita.



Fig. 1. Esquemas analizados. De izq. a der: 1, 2, 3, 4 y tradicional.

Este estudio tiene como objetivo evaluar desde el punto de vista económico las tipologías diseñadas en relación a la carga de calefacción, considerando tanto los costos de inversión como los asociados al consumo de energía durante la vida útil esperada de los edificios, entre 50 y 70 años. Los diseños analizados poseen características orientadas a reducir también los consumos asociados al acondicionamiento estival y a la iluminación, aspectos que no han sido evaluados en este trabajo.

METODOLOGÍA

El método utilizado para alcanzar los objetivos del estudio es el análisis del costo del ciclo de vida (LCC, life cycle costing). El análisis LCC se utiliza para evaluar sistemas alternativos que compiten sobre la base del costo, para lo cual es necesario que los mismos sean equivalentes desde el punto de vista funcional (eficiencia, seguridad, confort, confiabilidad, etc.). Para comparar alternativas, los costos del ciclo de vida se calculan en valores presentes, los que se obtienen descontando los costos que ocurren en distintos momentos de la vida de esas alternativas. Para calcular los valores presentes se utilizan los métodos estándar para realizar descuentos, aplicando las mismas tasas de descuento para todas las alternativas evaluadas. En trabajos anteriores se destaca la aplicabilidad del Análisis del Costo-Beneficio para realizar comparaciones entre alternativas de diseños bioclimáticos y tradicionales, por ejemplo en el artículo de López et al 1999. En dicho trabajo se encontró que el diseño bioclimático analizado brindaba beneficios económicos con respecto al tradicional. En otro trabajo se identificó que “el costo unitario por unidad de superficie construida no se incrementa notablemente por el uso de técnicas

bioclimáticas en edificios escolares, siempre que se optimicen racionalmente los diseños y tecnologías propuestas” (Fernández et al 1999). Sin embargo esta conveniencia no es general, y se debe estudiar caso por caso antes de tomar una decisión basada en la respuesta económica. Variables climáticas, de uso, geopolíticas y particulares de diseño pueden hacer inclinar la balanza en otra dirección. Por este motivo se realiza el estudio para este caso particular, que reviste notable importancia para el medio.

CÁLCULO DEL LCC

La ecuación (1) muestra el cálculo del costo del ciclo de vida de un sistema, como la suma del costo de inversión inicial I, el valor presente de los costos de sustitución R, el valor presente de los costos energéticos E, y el valor presente de los costos de operación, mantenimiento y reparación (OMR), menos el valor presente del valor residual S.

$$LCC = I + R + E + OMR - S \quad (1)$$

PASOS DEL LCC

Para realizar un análisis de LCC se deben cumplir los siguientes pasos:

- Identificar alternativas elegibles (incluyendo el caso de base, con la cual se compararán los diseños alternativos que satisfagan los requisitos mínimos especificados.
- Establecer las bases comunes del cálculo (tasa de descuento, período de estudio, fecha al cual se referirán los resultados, etc.). Estos valores deben ser los mismos para todas las alternativas evaluadas;
- Estimar todos los costos del proyecto y su ubicación temporal;
- Descontar los costos futuros al valor presente;
- Computar el LCC total para cada alternativa;
- Identificar la alternativa con el menor LCC;
- Considerar todos los costos y beneficios no cuantificables;
- Seleccionar la mejor alternativa.

Como se deduce de lo expuesto, para hacer el análisis del LCC es necesario hacer estimaciones sobre la tasa de descuento de la inversión (T_r), y sobre la tasa de aumento del precio de la energía (T_e). Este último factor presenta una notable volatilidad, lo que se ha puesto de manifiesto en estos últimos meses, por lo que se hace especial énfasis en este trabajo.

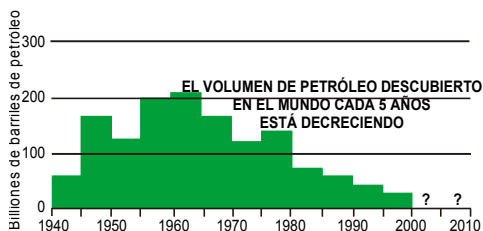
LA EVALUACIÓN DE LOS PRECIOS FUTUROS DE LA ENERGÍA

El precio de los combustibles está determinado por una serie de factores de influencia directa, tales como la demanda, la oferta, y las previsiones sobre el modo en que estos dos parámetros evolucionarán en el futuro, mientras existen numerosos elementos que afectan a dichos parámetros, tales como condiciones climáticas, geopolíticas, etc.

La demanda actual de gas y petróleo es muy fuerte, y muestra una tendencia creciente. En los últimos años se ha verificado una tendencia pronunciada a utilizar gas natural para alimentar las centrales eléctricas, por lo que se prevé un incremento aún mayor de la demanda de gas en los próximos años. Su uso también se ha generalizado como combustible para calefacción, lo que provoca un aumento de demanda en los períodos invernales. Por otro lado, los veranos particularmente cálidos producen un aumento de demanda de energía eléctrica para los acondicionadores de aire, lo que en definitiva se traduce en un aumento de consumo de gas natural. No se deben esperar disminuciones en el breve plazo en la demanda, dada la poca elasticidad del precio con la demanda para la mayor parte de las fuentes energéticas. No existen oportunidades sencillas de sustitución de combustibles a corto plazo por lo que la demanda podría apaciguarse sólo a través de esfuerzos grandes de conservación o por una fuerte recesión económica. La mayor parte de los pozos que hoy alimentan la demanda tienen una edad avanzada, comparada con la que tenían en los 70, antes de las dos grandes crisis petroleras. Sustener la producción desde este tipo de pozos es más costoso que a partir de pozos jóvenes, mientras que podría decirse en líneas generales que los grandes campos (los más fáciles de encontrar) ya han sido hallados (ver Figura 2, tomada de Campbell et al 1998). Los pozos por venir, más pequeños, declinarán su producción más rápidamente que los más viejos.

El precio de los combustibles es una variable de difícil predicción, y la confiabilidad de las predicciones sobre los mismos dan pocas garantías. Los precios son impredecibles, porque esencialmente miden “estados mentales”. Hoy el precio es relativamente alto alcanzando los U\$S 32/barril (agosto 2000), su valor máximo desde noviembre de 1990. Si el hemisferio norte tuviera hacia fin de año un invierno crudo, o si hubieran grandes tormentas que sacudieran las plataformas off-shore, o nuevos problemas con Irak, el precio podría aumentar drásticamente. Según algunos expertos geólogos con larga trayectoria en el tema de la prospección petrolera, el pico de producción de petróleo se alcanzaría entomo al año 2010, y como consecuencia de esto nos estaríamos acercando al fin de la época del petróleo barato (Campbell et al 1998). En sintonía con esta predicción, en una publicación reciente del Departamento de Energía americano se prevé un aumento del precio del gas natural en boca de pozo de hasta un 55 %, el que podría ser trasladado a los usuarios como consecuencia de la disminución de las reservas, la caída de la producción y el aumento de la demanda (Herbert, 2000). Otro artículo especializado señala que el fuerte aumento de los precios del petróleo se debe al creciente temor por un potencial desabastecimiento de combustible para calefacción para el invierno próximo del hemisferio norte (Ridder, 2000). El Instituto Americano del Petróleo afirmó que la oferta de crudo alcanzó sus niveles mínimos desde 1976 (Gorman, 2000). Estos precios se fijaron por la falta de confianza del mercado de poder remediar la falta de stock actual, y por el escepticismo acerca de las intenciones del gobierno de Arabia Saudita de producir suficiente crudo para mantener los precios moderados.

Sin embargo, otros estudios indican una tendencia totalmente contraria a la expuesta. Según algunos analistas, el mundo estaría “prácticamente nadando en petróleo”, y que aunque la demanda sea alta, la oferta está mejorando notablemente. Un



reporte sobre un estudio de 5 años de duración del US Geological Survey, publicado en junio de este año, encontró que las reservas mundiales de petróleo son un 20 % superiores a las estimadas hasta ahora, y que el pico de producción no se producirá hasta el 2040. Como consecuencia de este nuevo escenario, los precios tenderían a bajar, en lugar de aumentar como muchos creen, y la situación actual de los precios se debe a maniobras de la OPEC (la organización de los países exportadores de petróleo) para manejar el mercado. Según los autores de este nuevo reporte, sus conclusiones son muy confiables ya que se basan en estudios geológicos y no en análisis estadístico (Weedman, 2000). En otro artículo, el director de estudios sobre recursos naturales del CATO Institute asegura que los precios de mercado están bajando los precios de la energía, como siempre ha sucedido y como siempre sucederá (Taylor 2000). En un libro reciente se presenta un debate entre dos expertos que sostienen cada una de estas dos tesis opuestas (Myers et al. 1995).

Esta incertidumbre acerca de los precios futuros de la energía hace necesario evaluar las alternativas a través de escenarios, con razonamientos del tipo “si el precio del gas natural fuera de x \$/m³, el costo de la energía consumida por la alternativa A sería de y \$, y se ahorrarían z \$ durante su vida útil, evitando hacer una previsión acerca de lo que ocurrirá en el futuro.

ESTUDIO DE CASOS

Se analizan a continuación distintos escenarios para realizar la evaluación económica de las alternativas planteadas, considerando los costos de inversión y los costos energéticos por calefacción de las aulas durante toda la vida útil de los edificios. 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 959 grados días de calefacción en base 16 (ciudad de Mendoza).

El costo de inversión es similar para los esquemas 1, 3 y 4, mientras que el esquema 2 presenta un incremento del 14 y 13% según sus muros exteriores sean aislados o no. Este incremento corresponde a la mayor superficie cubierta (504.74 m²), con relación a los otros tres esquemas (430 m²). El costo de la energía consumida (gas natural) fue estimado en un valor medio de 17 centavos por m³, según la información suministrada por la compañía distribuidora local.

La Figura 3 representa los costos totales, así como los consumos anuales de energía para calefacción para todos los esquemas considerados. Se observa que el esquema tradicional consume una cantidad de energía entre dos y cuatro veces superior al de los esquemas bioclimáticos sin y con aislación de muros externos respectivamente. La alternativa que consume menos energía por calefacción es el esquema 4 con muros aislados. Para una descripción completa de las crujías, así como detalles de la evaluación térmica y del cómputo económico de los costos inversión se puede consultar el trabajo de Basso et al 2000. Se analizan además cuáles son los costos en el caso de no incluir entre las medidas conservativas muros externos aislados en los cuatro esquemas considerados. Los costos adicionales por aislación de los muros externos incluyen el material aislante, el muro adicional de protección y el costo incremental de las carpinterías, que son del tipo cajón en los muros dobles y por lo tanto más costosas que las instaladas en muros simples. La figura 4 muestra que se ahorra aproximadamente un 6 % del costo inicial por no incluir aislación en los muros externos, y simultáneamente se consume entre un 76 y un 95 % más de energía por calefacción. 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 el edificio escolar con y sin muros externos aislados. No se incluyen los costos de demolición, ya que son similares en todos los casos.

En un trabajo anterior se estudiaron las consecuencias ambientales de la aislación de muros externos en un edificio escolar situado en una localidad de características climáticas invernales similares a las aquí estudiadas, utilizando el método del Análisis del Ciclo de Vida (Arena et al 1999). Los resultados mostraron un mejoramiento importante en todas las categorías ambientales analizadas, que fueron: potencial de calentamiento global, de acidificación, de eutrofización, de formación de fotozom, de producción de toxicidad, de consumo de recursos y de producción de residuos.

Con fines comparativos, para observar cómo influye el clima en el resultado económico que se está investigando, se realizaron los cálculos del costo LCC para los mismos esquemas, considerando que los mismos se encontraran emplazados en el departamento de Malargüe, en la zona sur de la provincia de Mendoza (2019 grados día de calefacción).

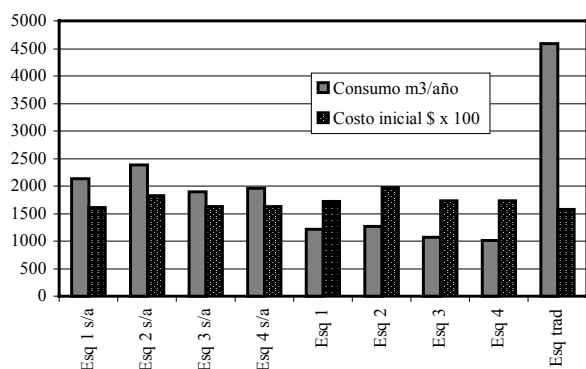


Figura 3. Consumo de energía y costo inicial por esquema

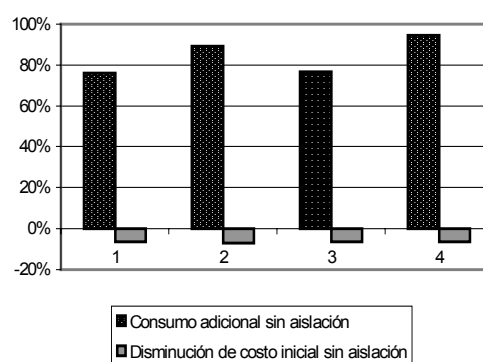


Figura 4. Disminución de costo y consumo adicional por no aislar muros

ESCENARIO 1

En este escenario supone 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 (que coincide con la de las medidas

conservativas evaluadas), y se ha considerado una tasa de retorno TR del 7,5 %, que corresponde a la tasa de interés de los préstamos del BIRF con los que el gobierno de Mendoza financió el programa de construcción de escuelas. Este escenario seguiría la posición de aquellos que sostienen que hay abundancia de combustibles para varias décadas más, y que no se producirán aumentos. Dado que es improbable que en el futuro haya más disponibilidad de combustibles que la actual, tampoco habría una disminución de precios. Se plantean dos casos: uno con una duración de 50 años y otro con una duración de 70 años. Los cálculos hechos sobre esta base estarían así subestimando la bondad de las medidas conservativas. Se plantean dos casos: uno con una duración de 50 años y otro con una duración de 70 años.

ESCENARIO 2

Este escenario asume que los precios futuros de la energía seguirán las tendencias que se registraron en el pasado, para lo cual se analizó la serie histórica de precios al consumidor del gas natural de los últimos 15 años, a partir de datos obtenidos de la Secretaría de Energía de la Nación, y se la extrapoló hacia el futuro con el método de los mínimos cuadrados. De este modo resulta una tasa media de aumento de los precios de la energía (Te) del 3 % durante la duración estimada de los edificios. La TR utilizada para estas evaluaciones fue del 7,5 % como en el escenario anterior. Se plantean dos casos: con 50 y 70 años de vida útil (N).

ESCENARIO 3

Se plantea como el primer caso que no hay aumentos del precio real de la energía durante la vida útil estimada de los edificios, y que la tasa de retorno es nula (0 %), es decir que compara los costos de inversión con los ahorros energéticos sin descontar. Se plantean dos casos: con 50 y 70 años de vida útil. La elección de una tasa de retorno nula se justifica por:

1. con la estructura actual de precios, y suponiendo que el costo de la energía no será menor durante ninguna porción significativa de los próximos 50 años, el análisis se puede realizar en términos de moneda real. Esta tasa es de sólo unos pocos puntos porcentuales, por lo que no se incurre en un gran error al estimarla nula.
2. la tasa de retorno de una inversión social (como una escuela) debería ser menor en cualquier caso que las de mercado.
3. si se aplicaran criterios "racionales" tales como tasas de descuento de mercado para todas nuestras decisiones, probablemente no se construirían escuelas (el período de retorno es demasiado largo, y los retornos demasiado inciertos).

ESCENARIO 4

Este escenario ha sido preparado siguiendo los lineamientos indicados por el Programa Federal de Gestión de la Energía de los Estados Unidos, indicados en el manual del National Institute of Standards and Technology de este país y utilizando los índices de precios de la energía y los factores de descuento señalados en la versión de abril del corriente año para la realización de análisis del costo del ciclo de vida (NIST, 2000). En este caso el período máximo del análisis sugerido es de 25 años, la tasa de retorno es del 3,4 %, y Te es pequeña y variable de año en año.

ESCENARIO 5

En este caso se calcula cuál debería ser el valor mínimo de Te para que la evaluación económica favorezca la aplicación de aislantes en los muros externos. Para cualquier tasa de aumento del precio de la energía superior al calculado los edificios de muros aislados serán más convenientes desde el punto de vista económico, y viceversa. Se plantean tres casos, cada uno con una duración de 50 y 70 años: uno con una Tr del 15 % para investigar la factibilidad en condiciones de inversión privada, otro con Tr = 7,5 % para evaluar la situación con las condiciones financieras de los préstamos utilizados, y por último una situación opuesta a la primera, con una Tr del 2 %.

RESULTADOS OBTENIDOS

Las tablas siguientes contienen los resultados obtenidos, indicando en la primera fila los parámetros utilizados en los cálculos. Aquí se ha indicado con Te % la tasa de aumento del costo de la energía, con TR % la tasa de retorno utilizada, y con N la duración de la vida útil del edificio en años. Los resultados han sido representados en orden creciente de costo del ciclo de vida para facilitar su interpretación. En la Tabla 1 se presentan para esquema los costos de inversión inicial y el consumo anual de energía por calefacción en m³/año. Estos valores son obviamente los mismos en todos los escenarios planteados, por lo que no se repiten en las tablas subsiguientes. Los cálculos correspondientes al caso de Malargüe se realizaron para todos los escenarios descriptos a continuación, pero por motivos de espacio se reportan únicamente los que corresponden al escenario 2, el que refleja más fielmente la situación actual.

Te = 0%; TR 7,5%			N 50	N 70
Alternativa	uso anual energía m ³ /año	Costo inicial \$	LCC \$	LCC \$
Esq 1 s/a	2137,52	161744,31	166459,08	166558,69
Esq 3 s/a	1890,02	162649,99	166818,83	166906,91
Esq 4 s/a	1961,83	163083,82	167411,08	167502,50
Esq trad	4585,54	157973,40	168087,81	168301,49
Esq 1	1214,82	172616,34	175295,90	175352,51
Esq 3	1068,61	173674,60	176031,65	176081,45
Esq 4	1007,11	173932,16	176153,56	176200,50
Esq 2 s/a	2387,15	183272,96	188538,34	188649,58
Esq 2	1262,34	197094,68	199879,04	199937,86

Tabla 1. Resultados Escenario 1.

Te 3 %; TR 7,5 %			N 50	N 70
Alternativa	LCC \$	LCC \$		
Esq 1 s/a	169081,21	169635,66		
Esq 3 s/a	169137,34	169644,78		
Esq 4 s/a	169817,68	170334,93		
Esq trad	173712,94	174921,95		
Esq 1	176786,13	177106,43		
Esq 3	177342,53	177624,27		
Esq 4	177389,00	177654,53		
Esq 2 s/a	191466,68	192096,08		
Esq 2	201427,56	201760,39		

Tabla 2. Resultados escenario 2 (Mendoza)

Te = 0 %; TR = 0 %	N = 50
Alternativa	LCC \$
Esq 3 s/a	178715,54
Esq 4 s/a	179759,83
Esq 1 s/a	179913,73
Esq 4	182492,81
Esq 3	182758,01
Esq 1	182942,59
Esq trad	196951,46
Esq 2 s/a	203564,26
Esq 2	207824,81

Tabla 3. Resultados Escenario 3 a

Te = 0 %; TR = 0 %	N = 70
Alternativa	LCC \$
Esq 3 s/a	185141,99
Esq 4	185917,19
Esq 3	186391,49
Esq 4 s/a	186430,47
Esq 1	187073,24
Esq 1 s/a	187181,75
Esq 2 s/a	211681,06
Esq 2	212117,01
Esq trad	212543,23

Tabla 4. Resultados Escenario 3 b.

Te variable; Tr=3,4 %	N = 25
Alternativa	LCC \$
Esq 1 s/a	170266
Esq. trad.	170847
Esq 3 s/a	170984
Esq 4 s/a	171235
Esq 1	178237
Esq 3	179592
Esq 4	179230
Esq 2 s/a	193612
Esq 2	203615

Tabla 5. Resultados Escenario 4.

TR = 15 %	N = 50; Te = 17 %	N = 70; Te = 16 %
Alternativa	LCC \$	LCC \$
Esq 4	187634,71	187966,05
Esq 3	188213,89	188565,47
Esq 3 s/a	188365,20	188987,03
Esq 1	189144,98	189544,67
Esq 4 s/a	189776,16	190421,62
Esq 1 s/a	190827,06	191530,32
Esq 2	214269,79	214685,11
Esq 2 s/a	215752,08	216537,48
Esq trad	220363,35	221872,03

Tabla 6. Resultados Escenario 5 a.

TR = 7,5 %	N=50; Te=10 %	N=70; Te=8,5 %
Alternativa	LCC \$	LCC \$
Esq 4	190177,75	190873,71
Esq 3	190912,22	191650,67
Esq 1	192212,52	193052,01
Esq 3 s/a	193137,67	194443,75
Esq 4 s/a	194729,97	196085,68
Esq 1 s/a	196224,51	197701,62
Esq 2	217457,31	218329,63
Esq 2 s/a	221779,87	223429,48
Esq trad	231942,27	235111,05

Tabla 7. Resultados Escenario 5 b

TR 2 %	N 50; Te 4 %	N 70; Te 2,5 %
Alternativa	LCC \$	LCC \$
Esq 4	188535,78	188258,42
Esq 3	189169,99	188875,68
Esq 3 s/a	190056,23	189535,70
Esq 1	190231,90	189897,33
Esq 4 s/a	191531,44	190991,13
Esq 1 s/a	192739,53	192150,84
Esq 2	215399,22	215051,56
Esq 2 s/a	217887,91	217230,46
Esq trad	224466,10	223203,20

Tabla 8. Resultados Escenario 5 c.

TR 7,5 %	N 50; Te 3 %	N 70; Te 3 %
Alternativa	LCC \$	LCC \$
Esq 1 s/a	179693,70	181072,47
Esq 3 s/a	179897,62	181222,48
Esq 4 s/a	180791,00	182151,15
Esq 1	182645,30	183415,67
Esq 4	183957,54	184727,62
Esq 3	184356,66	185177,19
Esq trad	191110,12	193655,49
Esq 2 s/a	204630,93	206271,52
Esq 2	208595,66	209479,10

Tabla 9. Resultados para la localidad de Malargüe

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS Y 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 (1a y 1b como los 2a y 2b), y en los que la tasa de retorno es del 7,5 % (escenarios 1 y 2) favorecen los esquemas de diseño bioclimático sin aislación excepto el esquema 2 s/a (por su mayor costo inicial). Un orden de conveniencia similar se encuentra en el escenario 3, donde no hay aumento de la energía y la tasa de retorno es nula (Esquema 1 s/a, Esquema 4 s/a, Esquema 3 s/a), sin embargo la diferencia de costo entre estas alternativas y aquellas que tienen muros aislados es mínima. Excepción a esta regla es el Esquema 2 en sus dos versiones, que es más caro por los motivos apuntados precedentemente, y no por poseer mayor inversión asociada al ahorro de energía.

Los resultados obtenidos con el escenario 4 favorecen los esquemas 1 sin aislar, tradicional, 2 y 3 sin aislar, con diferencias muy pequeñas entre sus LCC, por lo que la elección de una u otra alternativa se debería realizar siguiendo un criterio distinto. Se señala que el período de análisis en este escenario es de 25 años, por lo que se puede asegurar que considerando la vida útil estimada de los edificios se obtendría una ventaja económica para los esquemas bioclimáticos con respecto al tradicional.

Existen grandes diferencias entre los escenarios buscados para favorecer la implementación de los muros aislados en función de la tasa de retorno considerada, ya que para la primera opción (TR= 15 % y N = 70 años) es necesario un aumento anual del precio de la energía del 16 %, mientras que con una TR del 2 % y N = 70 años la tasa de aumento del costo de la energía requerido resulta de 2,5 %. En todos estos escenarios el esquema tradicional resulta ser más caro que los otros. Es remarcable que en condiciones de evaluación financiera privada (TR = 15 %) los esquemas con muros aislados tienen escasas chances de

implementación, dado el elevado aumento de costo de la energía requerido, mientras que con bajas tasas de retorno el aumento requerido del costo de la energía es bastante contenido, y la inversión en aislamiento de muros resulta atractiva. Con las tasas del préstamo otorgado para la construcción de las escuelas se requieren aumentos del costo de la energía de entre un 8,5 y un 10 % anual (según una duración de 70 o 50 años respectivamente) para que la aislación de los muros externos resulte ventajosa desde el punto de vista económico.

Otro resultado importante es que con tasas de retorno del 7,5 % los ahorros de energía que se consiguen muy adelante en el tiempo no tienen relevancia en el momento actual. En efecto, si se comparan los costos LCC para cada esquema en los escenarios 1 y 2 para 50 y para 70 años de vida útil se observa que son prácticamente idénticos, aunque el segundo incluya 20 años más de energía ahorrada, y el efecto es aún más importante cuando la tasa de descuento es mayor, como en el caso de las inversiones privadas que utilizan con frecuencia tasas del orden del 12 y del 15 % (ver por ejemplo escenario 5a). Cuando la tasa de retorno es baja o nula, considerar 50 o 70 años de vida útil tiene en cambio un efecto apreciable, como se observa comparando los resultados de los escenarios 3a y 3b.

Se ha puesto así de manifiesto que para los distintos escenarios analizados la justificación económica favorece los esquemas bioclimáticos, aún cuando no se consideren en el análisis externalidades y los costos ocultos derivados del no ahorro de la energía, pero no es suficiente para la aislación de muros externos de edificios escolares para reducción de la carga de calefacción, para la localidad analizada. Es importante destacar que estas conclusiones específicas para el estudio de caso realizado, ya que otros diseños de muros aislados pueden requerir menores costos de inversión, y los ahorros energéticos obtenidos traducidos en términos económicos y al momento presente pueden balancear con creces dichos costos de inversión. Si el análisis se llevara a cabo para un edificio ubicado en localidades distintas de la provincia de Mendoza, con inviernos más crudos, los ahorros por aislación de muros externos serían más importantes aún, desplazando el balance económico hacia un punto de equilibrio que podría favorecer su implementación. Esto se demuestra en el caso presentado para comparación correspondiente al Escenario 2 en la localidad de Malargüe, cuyos resultados han sido reportados en la Tabla 9. Allí se observa no sólo que el LCC es superior en aproximadamente un 10 % con respecto al mismo escenario planteado para la ciudad de Mendoza (Tabla 2) por el mayor consumo de energía, sino que los escenarios aislados son convenientes económicamente con respecto al diseño tradicional, y no presentan prácticamente diferencia con los esquemas bioclimáticos aislados. Por otro lado, si el costo del combustible utilizado fuera distinto, como en las localidades rurales de ese departamento donde se utiliza gas envasado de costo notablemente superior, el análisis favorecería la aislación de muros. Por último, si se contabilizaran las externalidades asociadas a las mayores emisiones producidas con muros sin aislar, el balance debería ser recalculado, y su resultado podría favorecer la aislación de muros aún en la localidad de Mendoza.

En este estudio se ha puesto además de manifiesto la potencialidad de método LCC para evaluar desde el punto de vista económico distintas alternativas de diseño que involucran distintos costos en distintos períodos de la vida útil de los edificios, como es el caso del diseño bioclimático que muchas veces exige mayores inversiones iniciales y menores costos de gestión energética. Para tener una visión completa del problema, es necesario complementar la información obtenida a través del LCC con otra referida al impacto ambiental, como la que brinda el Análisis del Ciclo de Vida.

ABSTRACT

Four different design alternatives of classroom tiers in school buildings built in Mendoza's northern oasis are comparatively evaluated from the economic point of view. All the alternative designs have the same functional attributes with bioclimatic features. The evaluation have been performed taking into account the whole life cycle of the buildings (Life Cycle Costing, LCC). The four bioclimatic alternatives are compared with buildings having the same design but no insulation in external walls, and with the most frequent traditional design for schools in the region. Different scenarios are considered for the economic evaluation, including different rate of return and energy prices evolution. The results show similar behavior for three of the analyzed alternatives, and reveal the scanty economic profitability of applying insulation to external walls in school buildings in the analyzed location.

Key words: bioclimatic scholar buildings, Life cycle costing, insulation, energy cost.

BIBLIOGRAFÍA

- Arena, A. P., de Rosa, C. (1999). *Un instrumento para el análisis y evaluación ambiental de productos y tecnologías. El análisis del ciclo de vida. III Aplicación: Aislantes térmicos en muros de escuelas rurales en regiones áridas andinas*. Averna. Vol 3, N. 2.
- Balcomb, J. et al. (1983): «*Passive Solar Design Handbook*». ASES. Boulder, Co. USA.
- Basso, M., Fernández Llano, J., de Rosa, C. (2000). *Evaluación térmica y económica comparativa de crujiás de aulas en edificios escolares bioclimáticos en la provincia de Mendoza*. Presentado para ASADES 2000, Resistencia (Chaco).
- Campbell, C. J., Laherrère, J.H. (1998). *The End of Cheap Oil*, Scientific American, 3/98.
- Fernández Llano, J., Basso, M., de Rosa, C (1999). *Análisis de costos en edificios escolares bioclimáticos*. Averna, Vol3, N°2
- Gorman, B. (2000). *Crude Oil Rises to Highest Since 1990 as Lower Inventories Seen*. Bloomberg, London 15/08/2000
- Herbert, H. J. (2000). *Natural gas prices seen rising 50 % or more*. The Bakersfield Californian. Edición 15/08/2000.
- López, J., Morillón, D. (1999). *Análisis Costo-beneficio entre un diseño tradicional y un diseño bioclimático*. Averna, Vol3 N2
- Myers, N., Simon, J. (1995). *Scarsità o abbondanza?. Un dibattito tra ambiente ed economia*. Franco Muzzio Editore
- NIST (2000). *Energy price Indices and Discount Factors for Life-Cycle Cost Analysis – April 2000*. NISTIR 85-3273-15
- Ridder K. (2000). *Heating Oil Supply Fears Fuel Surge in Crude Prices*. Tribune Business News. 14(08/2000).
- Taylor, J. (2000). *Left, Right and Wrong on Energy*. The Washington Post. Edición: 14 de agosto de 2000.
- Weedman, S. (2000). *USGS World Petroleum Assessment 2000 - Project*. United States Geological Survey. March, 2000.