

## **METODOLOGIA DE EVALUACION ECONOMICA DE CONSERVACION DE ENERGIA Y ESTRATEGIAS DE DISEÑO BIOCLIMATICO**

Alfredo Esteves<sup>1</sup>, Juan Verstraete<sup>2</sup>, Rodolfo Vilapriño<sup>3</sup>  
Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT) C.C. 131 (5500)  
Tel.: 0261 428 8797 Mendoza - República Argentina  
Correo Electrónico: incihusa@lab.cricyt.edu.ar

**RESUMEN:** Se analiza la factibilidad técnico-económica de la utilización del clima del lugar para acondicionar térmicamente los ambientes y de este modo reducir el consumo de combustibles para calefacción. Algunos beneficios pueden ser cuantificables (ahorro de combustibles menor contaminación del medioambiente, etc.) y otros difícilmente valorizados (mejor calidad de vida, vivir en ambientes más confortables en invierno y en verano, situación que tiene que ver indirectamente con la mayor productividad).

Se utiliza el método del RCC, de Los Alamos National Laboratory de la Universidad de California, para determinar el rendimiento de los sistemas solares pasivos. Posteriormente, las figuras del VAN y el VAN Marginal, nos permiten determinar la mejor alternativa de inversión.

Se presentan los resultados basándonos sobre una vivienda económica construida por el Instituto Provincial de la Vivienda y el ahorro energético que se alcanza.

### **INTRODUCCION**

Desde fines de la década de los años 70, se ha trabajado en poner a punto metodologías de cálculo y simulación del uso de sistemas solares aplicados a viviendas. En este sentido se ha tratado de conocer la factibilidad técnica de una propuesta y acumular experiencia en ese sentido. Sin embargo, llegado el momento de aplicar un determinado sistema solar, no se había desarrollado aún una herramienta de cálculo que frente a las condiciones actuales de mercado (tasas de interés, tasas de aumento del precio del combustible, etc.) que permita obtener la conveniencia económica de su implementación.

Debido a ello esta metodología permite obtener:

Áreas óptimas del sistema solar para cada fracción de ahorro solar (FAS) desde 10 al 90 %.

- Determinar la FAS conveniente desde el punto de vista de la rentabilidad.
- Dimensionar los espesores óptimos de aislación térmica necesarios en techos, muros y fundaciones para alcanzar la resistencia térmica óptima para cada FAS desde 10 al 90 %, de 10 en 10 puntos porcentuales de incremento.
- Cantidad de combustible ahorrado y la cantidad a consumir dado un nivel de aislamiento óptimo de los diferentes rubros.
- Valor actual neto.
- Tasa Interna de retorno.

En este trabajo, se trata de determinar frente a las condiciones impuestas y conociendo ya su factibilidad técnica y su comportamiento térmico, la solución más rentable desde el punto de vista técnico-económico.

### **METODOLOGIA**

Encontrar la solución al problema planteado, supone resolver mediante un análisis técnico-económico, la relación óptima entre la inversión solar y la inversión en conservación, donde la suma de ambos corresponde al monto total invertido en transformar la vivienda tradicional en una vivienda que hace mejor uso y conservación de la energía solar, y la disminución en el consumo de energía tradicional.

Podemos considerar a la vivienda como un sistema al cual le incorporamos tecnología y el mismo sistema reacciona para mejorar la situación térmica interna y producir ahorros de energía.

Necesitamos conocer la situación de partida del sistema y la situación después de incorporar la tecnología solar. Se ha utilizado el método de la Relación Carga Térmica / colector (RCC), desarrollado por Los Alamos National Laboratory de la Universidad de California (2)

La fracción de energía que, aportada por el sol es realmente aprovechada por la vivienda, medida respecto de la cantidad de energía necesaria anualmente en el período de calefacción, constituye la fracción de ahorro solar (FAS). Esta figura es utilizada para cuantificar el rendimiento térmico del sistema solar implementado en la vivienda.

---

<sup>1</sup> Investigador Adjunto CONICET

<sup>2</sup> Investigador Independiente CONICET - Profesor UNC. Facultad de Economía.

<sup>3</sup> P. Principal CONICET

En el cálculo de la FAS, intervienen dos figuras preponderantes: a) el Coeficiente Neto de Pérdidas (CNP) y b) la razón entre la energía solar absorbida (RS) por el sistema y los grados-día (GD) en un período de tiempo o sea:

$$FAS = f(CNP, RS/GD)$$

donde:

CNP = Coeficiente Neto de Pérdidas (W / C°)  
RS = Radiación solar absorbida en el interior de la vivienda (W / mes)  
GD = Grados día (C° día / mes).

El CNP indica la cantidad de energía que la vivienda pierde por cada grado de diferencial de temperatura entre el interior y el exterior. Se calcula como la sumatoria del área de cada elemento de la vivienda (muros, techos, ventanas, puertas, fundaciones, etc.) medida en m<sup>2</sup> multiplicado por su correspondiente conductancia térmica [W / m C°].

El CNP depende por un lado de la forma de la vivienda, dada a través del diseño de la misma y por otro de las características termo físicas de los materiales que han sido utilizados. Un ejemplo sería tratar de que el perímetro expuesto de la vivienda sea mínimo, para reducir así las áreas implicadas en las pérdidas y consecuentemente, lograr un CNP más bajo.

Por otra parte, dada una determinada vivienda, para evitar pérdidas de energía, podría utilizarse aislación térmica. Esta medida se traduce en una reducción de la conductancia térmica del elemento aislado y consecuentemente en una reducción del CNP.

La razón RS / GD depende, por un lado del clima del lugar donde se ubique el edificio y por otro, del tipo de sistema solar y su tamaño. Los GD dependen del clima local y la cantidad de radiación solar absorbida realmente por el sistema será función de la cantidad de radiación disponible en el lugar, y del tipo de sistema solar elegido y su tamaño. Un valor mayor de RS / GD para el mismo CNP implicara una mayor FAS.

De lo expuesto, vemos que la respuesta de un sistema solar en una vivienda, no depende solamente del clima del lugar sino también de la forma de la vivienda, de los materiales, la distribución de los ambientes y la orientación del conjunto. Esto modifica profundamente el comportamiento térmico final resultante.

Las estrategias de conservación de energía y los sistemas solares pasivos, se complementan en una vivienda implantada en un determinado clima. Una misma FAS resultante puede provenir de infinitas combinaciones entre conservación y aporte solar. Se puede obtener con una mínima conservación (que se traduce en un espesor pequeño de aislamiento) y máximo aporte solar (aberturas solares grandes) o hasta con una apertura solar mínima y máxima conservación. La solución óptima se ubicará en una determinada combinación alejada de estos extremos.

Para encontrar este valor óptimo se eligió como caso de estudio la vivienda VB3, construida por el Instituto Provincial de la Vivienda, en varios lugares de la provincia. de Mendoza Se consideró la orientación óptima (los ambientes principales al norte) y ubicada en la Ciudad de San Carlos, Mendoza, República Argentina. De esta manera hemos acotado clima forma materiales y orientación. En la figura 1 se indica un plano esquemático.

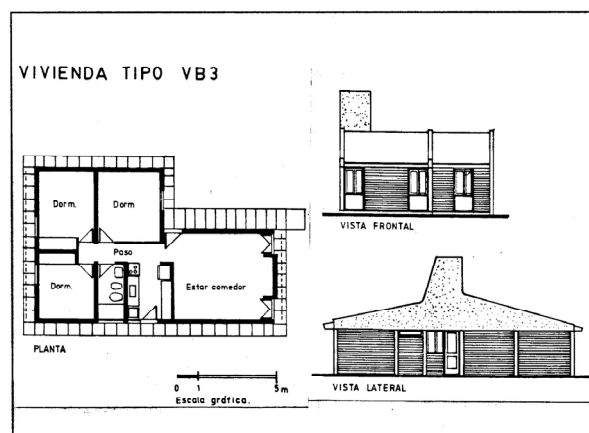


Figura 1 - Planta y vistas de la vivienda VB3

Posteriormente se calcula para cada FAS, la combinación óptima del sistema solar y conservación, haciendo variar el área colectora y determinando posteriormente el espesor de aislamiento necesario en cada elemento (muros techos y perímetro). La inversión total resultante va disminuyendo al aumentarse el área colectora hasta llegar al un mínimo (punto óptimo), luego del cual para un aumento en el valor del área colectora aumenta también la inversión adicional resultante. La figura 2 indica esta situación para el caso de una Fracción de ahorro Solar del 70 %.

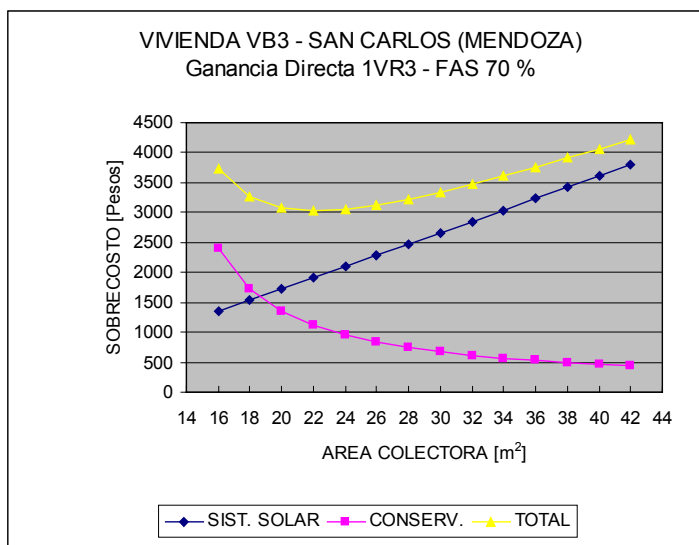


Figura 2: Inversiones en conservación de energía y sistemas solares

Esto se repite en el programa desarrollado para las fracciones de ahorro solar desde el 10 al 90 % con variaciones de 10 en 10 puntos porcentuales.

Según este análisis obtenemos una inversión adicional óptima para cada valor de FAS. Al aumentar la FAS, se obtiene un ahorro mayor de energía, pero, para lograrlo, la inversión adicional aumenta. En todos los casos debemos invertir una determinada cantidad de recursos y el sistema producirá un flujo de fondos durante su vida útil de tal manera que, ligado a la inversión adicional podemos determinar mediante el uso de las figuras económicas como la tasa interna de retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN) una tasa de rentabilidad que la hace o no atractiva.

La TIR se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_0 = \sum_0^n \frac{A_t^j}{(1+r)^t}$$

donde:

- $C_0$  = costo de la inversión real en el período inicial.
- $A_t^j$  = ahorro en el gasto en el combustible de tipo j en el período t, expresado en valores constantes
- t = tiempo
- r = tasa interna de retorno
- n = vida útil de la inversión

La tasa interna de retorno así obtenida se compara con la tasa real de interés de mercado a fin de verificar si el proyecto es rentable o no. En caso de que la tasa real de interés sea inferior o igual a la tasa interna de retorno del proyecto la inversión adicional se considera aceptable.

Una forma alternativa para comparar las distintas opciones de inversión y uso de energía, es calcular el VAN del proyecto.

Este se obtiene de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_0^n \frac{A_t^j - C_t}{(1+i)^t}$$

donde:

$i$  = costo real relevante del uso de fondos para realizar el proyecto.

$C_t$  = inversión adicional inicial y eventualmente la inversión de reemplazo y gastos de mantenimiento en el período  $t$ .

Tomar decisiones en base a la TIR implica una serie de supuestos que presentan una serie de inconvenientes. Supone que:

- Se pueda reinvertir el flujo neto de los fondos a la misma tasa interna de retorno. Esto conlleva dificultades cuando se trata de elegir entre dos proyectos alternativos, pudiendo conducirnos a una decisión equivocada.
- Puede suceder que haya más de una TIR o que no exista ningún valor real que satisfaga la ecuación.

Asimismo la fórmula del VAN utilizada tiene un supuesto que conviene aclarar. Los costos como los beneficios tienen lugar a lo largo de un período durante el cual la tasa real de interés no es constante. Lo correcto sería descontar los flujos a lo largo del período de vida útil por la tasa real de interés vigente en cada uno de ellos. Esto se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_0^n \frac{A_t^j - C_t}{\pi^t_0 (1+i)^t}$$

donde:

$i_k$  = costo real del uso de fondos en el período  $k$

Sin embargo por razones de simplicidad, y dada la imperfección del mercado de capitales argentino, se supuso una tasa real del costo del uso de los fondos constante.

El VAN marginal por sobrecosto marginal nos indicará como asignar los fondos limitados en forma óptima.

El VAN marginal es el cambio en el VAN al invertir una suma adicional (sobrecosto marginal) en solarizar la vivienda. La razón de ambas variables nos indica el cambio en el VAN por peso invertido. Se utiliza esta razón con el fin de poder comparar los VAN marginales de distintos proyectos que requieran sumas diferentes de inversión adicional.

El cálculo del VAN para cada FAS, nos permite predecir para una situación en que se dispone de fondos ilimitados, cuál es la FAS para la cual, la inversión resulta ser la más conveniente económicamente.

En esta etapa se necesita conocer el monto del ahorro, el cual dependerá del combustible utilizado para calefacción y su precio. El programa de cálculo incorpora 3 tipos de combustibles: gas natural, gas envasado y kerosén.

La figura 3 indica el VAN para valores de FAS de 10 % al 90 % y para cada tipo de combustible.

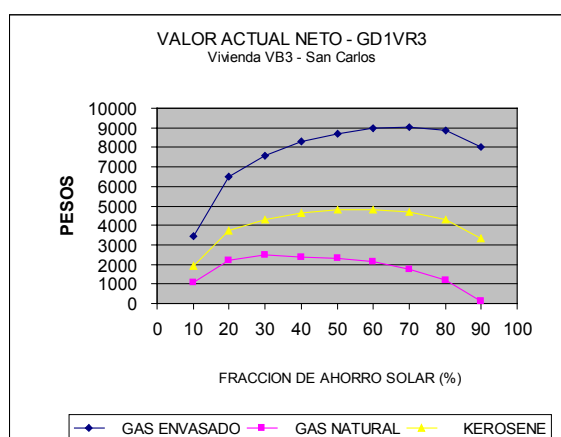


Figura 3 – VAN en función de la FAS

En caso de que los fondos sean limitados, y que se trate de un conjunto de viviendas, la figura del VAN no es la figura apropiada para determinar el óptimo. En este caso, se utiliza el VAN marginal por peso adicional (marginal) invertido, el que nos indica hasta donde invertir en cada vivienda del conjunto. En el gráfico 5 aparece el VAN marginal por peso marginal invertido en el ejemplo que nos ocupa y también para variación de FAS desde 10 al 90 % y para cada combustible analizado.

Se deduce de la figura 4 que en el caso de gas envasado, la inversión adicional óptima sería la necesaria para llegar al 40% de la FAS en todas las viviendas antes de llegar al 60 % en una o algunas de ellas hasta que se agoten los fondos

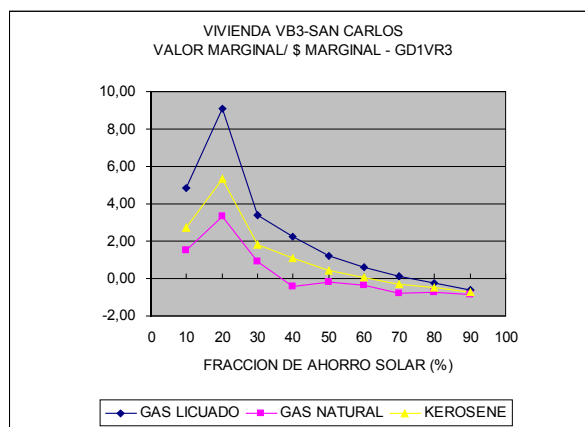


Figura 4: VAN marginal / \$ marginal invertido.

A un agente (persona cooperativa gobierno) le convendrá seguir invirtiendo en la vivienda en concepto de sistema solar y conservación de energía hasta que el VAN marginal por peso sea igual en todos los proyectos de inversión que desee emprender. Como puede apreciarse, dependerá de las posibilidades y preferencias de cada individuo, como asimismo de su tasa de retorno personal hasta donde estará dispuesto a invertir.

La ventaja de esta metodología, es que encuentra rápidamente el óptimo económico y técnico, tomando en consideración cambios en el área colectora y en los espesores de aislación de muros techos y fundaciones, teniendo en cuenta los criterios de cálculo adoptados en el Anexo I.

## CONCLUSIONES

Se destaca en el presente trabajo que la herramienta de cálculo expuesta, nos permite inferir que la aplicación de la tecnología solar pasiva en las viviendas ha dejado de ser una “tecnología del futuro”. Se ha demostrado que puede cuantificarse perfectamente cada nivel de solarización (FAS) y elegirse el óptimo de acuerdo a la rentabilidad.

También se observa que, contar con una correcta orientación es sumamente importante, porque permite que el propietario tenga acceso al acondicionamiento bioclimático con toda su potencialidad, ahorrando energía desde el principio, aún cuando no se halla implementado las estrategias de conservación de energía.

Finalmente ahorrar energía en el sector residencial y terciario, constituye una alternativa que merece no despreciarse sobretodo si el combustible alternativo propuesto, el uso de la energía solar, se presenta como un factor libre.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABRIANI, Arturo D. Y BORDESE Nelson R. “ Modelo para la previsión de la demanda de energía del sector de Transporte”. Primer Congreso Argentino sobre el Uso Racional de la Energía. Buenos Aires, Noviembre de 1985.
- BALCOMB, J. Douglas, JONES, Robert W., KOSIEWICZ, Claudia E., MAC FARLAND, Robert D., WRAY, William O., Passive Solar Design Handbook, volume 1,2, 3 and supplement. Ch H: Economics Analysis N° 11 S., Barley D. American Solar Energy Society, 1982.
- ESTEVEZ Alfredo, VERSTRAETE Juan M., VILAPRIÑO Rodolfo, Evaluación Económica de Conservación de Energía y Estrategias de Diseño Bioclimático en Viviendas de Interés Social, Gobierno de la Provincia de Mendoza, Mendoza, 1992.
- BALCOMB, J.Douglas, JONES Robert W., MAC FARLAND Robert D., WRAY William O., "Performance Prediction of Passive Solar Heated Buildings by the Solar Load Ratio Method", Los Alamos Scientific Laboratory. University of California. for the US Department of Energy.

## ABSTRAC

The technical and economic feasibility of making use of the climate to condition terminally the environments in order to reduce the consumption of heating fuel is analyzed. Some benefits obtained are measurable (fuel savings, lower environment contamination, etc.) while others are difficult to quantify (better quality of life, to stay in more comfortable environments in winter and summer, both indirectly related with higher productivity).

Use is made of the Solar Collector Ratio (RCC), developed at Los Alamos National Laboratory – University of California, to define the output of the passive solar system. Afterwards, after obtaining the actual value and marginal actual value, it is possible to define the best solar passive savings investment project.

Results of energy savings that can be obtained are presented for social houses build by the Instituto Provincial de la Vivienda.

## ANEXO I

<b>DATOS DEL PROYECTO</b>									
<b>VIVIENDA EN ESTUDIO: VB3</b>				<b>Localidad :</b>		<b>SAN CARLOS</b>			
<b>SISTEMA SOLAR: GD 1V R3</b>				<b>Valores de calculo:</b>		<b>JUNIO 2001</b>			
<b>DATOS DE LA VIVIENDA</b>			<b>DATOS CLIMATICOS Y FISICOS</b>			<b>DATOS DE COSTOS DE LA VIVIENDA</b>			
Muros ("K")	2,422	89,57	m <sup>2</sup>	Grados día anuales:	2112	Muros	31,91	[\$/m <sup>2</sup> ]	
Techos ("K")	1,029	72,66	m <sup>2</sup>	Dens rel. del aire:	0,91	Techos	55,01	[\$/m <sup>2</sup> ]	
Ven.sur ("K")	5,800	6,30	m <sup>2</sup>	C. espec. del aire:	0,288	Ventanas Sur (Sobrecosto)	28,00	[\$/m <sup>2</sup> ]	
Perímetro ("K")	2,740	38,50	m			Infiltracion (ml de burlete)	0,25	[\$/m]	
Infiltracion		197,52	m <sup>3</sup>	<b>PROPORCIONES DE PERDIDAS</b>			Vent.trad a reempl.por Sistema Solar	65,80	[\$/m <sup>2</sup> ]
Area ventanas norte		4,20	m <sup>2</sup>	Muros :	0,33	Aislacion termica	53,20	[\$/m <sup>2</sup> ]	
Renov Aire Hora		3	N <sup>o</sup>	Techos :	0,33	Doble contacto (carpinteria)	3,15	[\$/m]	
Landa aislacion termica :		0,041		Fundaciones :	0,34	Proteccion aislacion termica	0,00	[\$/m <sup>2</sup> ]	
<b>DATOS ECONOMICOS:</b>						Sistema Solar: GD 1V R3	115,00	[\$/m <sup>2</sup> ]	
Costo Tubo de Gas de 45 Kg	50,00		[\$/tubo]			Presupuesto original de vivienda	24500	[\$]	
Costo m <sup>2</sup> de Gas	0,148230		[\$/estruc.			<b>EFICIENCIA EQUIPOS DE CALEFACCION. (%)</b>			
Costo Litro de Kerosen	0,590		[\$/l]			Gas natural o env.: Tiro balanceado	82,00	‰	
Tasa Aumento Combustibles	6,70%	1,70%	7,90%			Catalitico	85,00	‰	
Costo del Servicio Capital	0,16		(**)			Kerosene : Tiro balanceado	80,00	‰	
(**)Incluye amortizacion y servicio real de capital						Electricidad :	0,00	‰	
Amortizacion	0,05								
Serv. real del capital (Pasiva)	0,11								

*Valores utilizados en el procesamiento de los cálculos.*