

VALORACIÓN MICROECONÓMICA DE ALTERNATIVAS BIOCLIMÁTICAS EN VIVIENDAS EXISTENTES

I. Blasco Lucas¹

Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat (IRPHa) - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD)
Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) - Av. Ignacio de La Roza y Meglioli – 5400 San Juan – Argentina
Tel.: +54(0)264 423 2395 / 3259 Int. 318 – Fax: +54(0)264 423 5397 – <http://www.irpha.com.ar>
E-mails: iblasco@faud.unsj.edu.ar iblasco_2000@yahoo.com

RESUMEN: Se utiliza el método microeconómico del Valor Presente en el ciclo de vida para realizar la evaluación monetaria de la aplicación de combinaciones de doce estrategias bioclimáticas (alternativas), sobre doce casos de estudio consistentes en seis tipologías barriales orientadas al Norte y al Este, localizadas en la ciudad de San Juan, Argentina, que han sido analizadas en investigaciones previas. Los índices usados son el valor actualizado neto, la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación de la inversión, dado que los tres en conjunto brindan una clara información para tomar decisiones bien fundadas sobre la conveniencia de efectuar las erogaciones asociadas a cada variante. El ahorro energético, que es el beneficio de cada Alternativa, se estima en función de cálculos teóricos y mediciones. El soporte informático desarrollado, PROMETE-V, permite hacer análisis de sensibilidad a varios factores en forma aislada o simultánea. Los resultados indican que sería necesario que los consumos de referencia (del año 2006) destinados a climatización aumentasen un 50% en el gas y un 70% en electricidad, al igual que las tarifas respectivas, si se desea que el gasto sea de interés para inversores privados.

Palabras claves: Microeconomía, valoración, bioclimáticas, alternativas, viviendas existentes.

INTRODUCCIÓN

El beneficio que la incorporación de medidas bioclimáticas sencillas produce en el comportamiento térmico de viviendas existentes localizadas en el Gran San Juan es innegable y puede permitir como mínimo una disminución de la carga anual superior al 30% (Blasco Lucas, 2011). Sin embargo, la factibilidad de su implementación estará fuertemente condicionada por su conveniencia económica, entre otros factores. La evaluación económica de proyectos en general es una simulación del comportamiento de un modelo económico-financiero del sistema técnico analizado (Samuelson y Nordhaus 2004). El sistema técnico en este estudio corresponde a las alternativas de mejoras que se proponen efectuar en las viviendas para lograr mayor confort con menor consumo energético.

Para determinar las posibilidades reales de ejecución de las distintas propuestas se lleva a cabo una valoración microeconómica de las mismas, aplicando el método del Valor Presente (Sapag Chain, 2008) también denominado de análisis de Costos en el Ciclo de Vida (CCV) (Duffy & Beckmann, 1993), por ser el más adecuado de las matemáticas financieras para evaluar proyectos que hacen uso de energías renovables, cuyo incremento de inversión inicial respecto a propuestas tradicionales, se recupera mediante ahorro energético convencional a lo largo de la vida útil del bien, el cual en este caso es la vivienda (Esteves et al., 1992; Blasco Lucas, 1997; Verstraete y Vilapriño, 2001; Yarke, 2006; Arboit et al., 2008; Sulaiman et al., 2010).

Los índices utilizados para comparar son el VAN (Valor Actualizado Neto), la TIR (Tasa Interna de Retorno) y el TR (Tiempo de Retorno o Recuperación de la Inversión), dado que los tres en conjunto brindan una clara información para tomar decisiones bien fundadas. La simulación económica del sistema consiste en identificar los costos y beneficios asociados al comportamiento del sistema y posteriormente aplicando el método CCV se calcula el rendimiento monetario del proyecto, a través de los indicadores antes mencionados. La interpretación de los resultados está sujeta a las condiciones de entorno y a las políticas que se derivan de ellas. Medidas como las propuestas tienen un carácter social, por las ventajas que representan tanto para los usuarios directos, como para el ambiente y la sociedad en general. Aún cuando la monetización de tales aspectos suele dar lugar a controversias en cuanto a los criterios a aplicar, es conveniente emplear una evaluación social cuando se abarcan muestras mayores a las aquí consideradas.

En el presente artículo se realiza el análisis con precios vigentes al mes de febrero de 2011, exponiendo el procedimiento elaborado, el método seleccionado, los criterios definidos, los datos que se utilizaron y los resultados obtenidos.

METODOLOGÍA

El análisis se realiza sobre 18 Alternativas de combinaciones de estrategias bioclimáticas definidas para seis Casos de Estudio en la ciudad de San Juan (Blasco Lucas, 2011), para las cuales se calculó la Carga Térmica Anual (Q_{TA}). Estos valores se compararon con el Caso Referencia (R) respectivo (viviendas originales) y se obtuvo la relación porcentual para

¹ Miembro de ASADES. Investigadora Categoría I en el Programa Nacional de Incentivos. Directora del Proyecto PIC21A843 (CICITCA-UNSJ) y miembro del Grupo Responsable del PICT06-00956 (ANPCYT) en el marco de los cuales se realiza el presente trabajo.

cada variante. A partir de allí, en la actual investigación, se contrastan las Q_{TA} de los R con estimaciones de consumo energético anual para climatización (de invierno y verano) realizadas en función de mediciones reales de muestras representativas en los años 1999 y 2006 (Rosés et al., 2011) en cada tipología barrial, y se determina un factor de ajuste, compatibilizando ambos cálculos. Para definir los porcentajes se hizo por un lado, una correlación entre los valores relativos de gas y electricidad referidos al total en cada instancia considerada, y por otro, se analizó la tendencia, pues los consumos reales eran datos del año 2006, y el cálculo económico se realiza con precios corrientes en febrero de 2011.

Precio Unitario de Energía

Al precio unitario de energía (gas o electricidad) se le adicionó la parte proporcional de los impuestos con la fórmula 1. Se multiplicó por el factor de conversión ($1/0.8333 \text{ m}^3/\text{kWh}$) la tarifa de gas para homogeneizar unidades. Además al igual que en el caso de los consumos, por idénticas consideraciones y del mismo modo, se ponderó la tarifa de gas en un 70% y la de electricidad en un 50%

$$TC_i = (T_{Bi} \cdot (1 + P_{ii})) \cdot (1 + P_{pi}) \quad (1)$$

Donde:

- TC_i = Tarifa de cálculo del servicio i (gas o electricidad) [\$/kWh]
- T_{Bi} = Tarifa básica vigente para el cargo variable del servicio i (gas o electricidad) [\$/kWh]
- P_{ii} = Proporción de impuestos del servicio i (gas o electricidad) [%]
- P_{pi} = Ponderación de impuestos del servicio i (gas o electricidad) [%]

Con la fórmula 2 se calcula el ahorro energético anual en pesos argentinos por Caso y Alternativa.

$$AE_j = CR_j \cdot P_{aj} \cdot TC_t \quad (2)$$

Donde:

- AE_j = Ahorro Energético anual por Alternativa y Caso [\$/año]
- CR_j = Consumo energético anual por Caso Referencia (R) [kWh/año]
- P_{aj} = Porcentaje de Ahorro energético anual por Alternativa y Caso [%/año]
- TC_t = Tarifa de cálculo de servicios de energía total (gas + electricidad) [\$/kWh]

Índices Microeconómicos

El método CCV (Duffy & Beckmann, 1993) posibilita convertir un flujo de erogaciones y beneficios asociados a una inversión inicial (I_i) a valores futuros (VF), es decir al finalizar el período de estudio, o a valores presentes o actuales (VP o VA) (Sapag Chain, 2008), y es este último el que se selecciona en la actual investigación. Para que el proyecto de inversión sea conveniente, el VP o VA debe ser mayor que cero. Se aplican las ecuaciones de cálculo del VP para anualidades constantes (VA) –fórmula 3-, y para anualidades desiguales (VAN) –fórmula 4-. Con el flujo de fondos que se conforma para estimar el VAN, se obtienen la TIR y la TR (fórmula 5). La TIR evalúa un proyecto en función de una única tasa de rendimiento para el período, con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son absolutamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual, y representa la tasa de interés más elevada que un inversionista podría pagar sin perder su dinero, si todos los fondos se tomaran prestados y el préstamo (principal e interés acumulado) se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo (Bierman y Smidt, 1977). Se obtiene igualando el VAN a cero y despejando la tasa de descuento respectiva. Cabe aclarar que desconoce los costos de oportunidad, de riesgo y evaluación del contexto en conjunto. La TIR del proyecto debe ser mayor que la tasa de descuento adoptada (TIR mínima de referencia) para determinar la conveniencia de la inversión. El TR determina la cantidad de períodos necesarios para recuperar la I_i , y también se compara con un TR de referencia. A continuación se detallan las ecuaciones aplicadas.

$$VA_k = C_k \cdot [1 / (1 + i)^1] + C_k \cdot [1 / (1 + i)^2] + \dots + C_k \cdot [1 / (1 + i)^n] \quad (3)$$

Donde:

- VA_k = Valor Actual de la alternativa k [\\$]
- C_k = Cuota anual constante de la alternativa k [\\$]
- i = Tasa de descuento [%]
- n = número de años del período de análisis [-]

$$VAN_k = \sum_{t=1}^n [Y_{kt} / (1 + i)^t] - \sum_{t=1}^n [E_{kt} / (1 + i)^t] - I_{ik} \quad (4)$$

Donde:

- VAN_k = Valor Actual Neto de la alternativa k [\\$]
- Y_{kt} = Flujo de ingresos de la alternativa k en el tiempo t [\\$]
- E_{kt} = Flujo de egresos de la alternativa k en el tiempo t [\\$]
- I_{ik} = Inversión Inicial de la alternativa k en el año 0 [\\$]
- i = Tasa de descuento [%]
- t = años del período de análisis [-]

$$TR_k = I_{ik} / BN_k \quad (5)$$

Donde:

- TR_k = Tiempo de Recupero de la Inversión de la alternativa k [años]
- I_{ik} = Inversión Inicial de la alternativa k en el año 0 [\\$]

BNk = Beneficio neto generado para cada período anual [\\$]

Cuando el período de análisis es inferior a la vida útil del bien evaluado, éste tiene aún un valor agregado, que se denomina Valor de Desecho o Valor Residual (VR) porque perdura por fuera del período de análisis, y supone el valor al cual se podría vender para recuperar parte de la Ii, por ello se lo incluye restándolo en el último año del cálculo de Ykt. En el marco del modelo económico-financiero para evaluación privada en mercado de competencia perfecta (Samuelson y Nordhaus 2004), existen tres métodos para su determinación: el contable, el comercial y el económico. Se selecciona aquí el método comercial, el cual parte de la base que los valores contables no reflejan el verdadero valor que podrán tener los activos al término del período de análisis.

Dado que el bien sobre el que se aplican las propuestas de mejoras es una vivienda, que tiene una vida útil superior al período de análisis y un valor en el mercado inmobiliario que se incrementa a perpetuidad, se ha considerado que al finalizar el período las mejoras le habrán aumentado el valor en un 10% y, el VR de las mejoras será un 15% del nuevo valor de la vivienda. La tasación de las viviendas se realiza a los valores actuales del mercado inmobiliario.

Ponderación por Confort

Para incorporar de algún modo en los valores contables una apreciación de tipo cualitativa, como lo es la valoración del incremento de confort que los usuarios podrían hacer, se definieron una serie de porcentajes por Alternativa -guardando proporción al nivel de inversión que implica cada una- que multiplicados por la inversión inicial se suman a los beneficios de las mejoras. Los mismos varían de 10% a 35%. De todos modos, este análisis es realizado sólo a modo indicativo, de cómo pueden llegar a influir en la estimación de los costos cuestiones de tipo subjetivo.

SOPORTE INFORMÁTICO

Al igual que en el procedimiento de cálculo térmico, la variedad y cantidad de casos a evaluar en forma simultánea dan la complejidad al sistema de simulación empleado, por lo cual se desarrolló un soporte informático de características matriciales, programado en libro de MS-Excel, usando funciones de búsqueda, matemáticas y financieras en hojas vinculadas, disponibles en este utilitario. El soporte se denominó "PROMETE-V" (Procedimiento Microeconómico de Evaluación Térmico-Energética de Viviendas).

La estructura permite realizar análisis de sensibilidad variando en forma individual o combinada, la tasa de interés, el período de análisis, el porcentaje de ahorro energético, el valor unitario de la energía (electricidad y gas), los costos de mantenimiento de cada una de las 12 estrategias aplicadas y el valor residual de las Alternativas. Además la actualización de precios puede realizarse en forma sencilla.

Las matrices se ordenaron siguiendo la secuencia paso a paso de los cálculos necesarios, de modo que se puede comprender rápidamente las operaciones que se realizan, al igual que controlar donde se producen distorsiones de los valores. Se utilizaron colores en las celdas para identificar las alternativas fácilmente. Las hojas principales son las de materiales, precios unitarios para cada alternativa, consumo, general (calcula costos totales por estrategia y Alternativa), VAN, TIR y resumen. Los resultados se muestran en tablas y gráficas que se conforman automáticamente.

Las Figs. 1 a 3 muestran parcialmente las hojas de cálculo de costo unitario por estrategia, ahorro económico anual de energía y resultados finales de VAN, TIR y TR.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
		Descripción de Obras			Costo de Materiales	Costo de M. De Obra	Total	Vida Util	Mantenimiento	PERIODO				
2		Aislaciones para Techos			24.8	12.4	37.2	25	1.00%	25				
3		Cambio de lugar de 1 Ventana (1,20 m x 1,40 m)			42.6	21.3	63.9	25	1.00%					
4		Aislaciones para Paredes exteriores			49.9	25.0	74.9	25	1.00%					
5		Torre captadora de vientos			308.9	154.5	463.4	25	1.00%					
6		Pergolas perimetrales			61.0	30.5	91.4	25	1.00%					
7		Aislación Ventanas con Burletes			0.6	0.3	0.9	3	0.10%					
8		Aislación Ventanas con Persianas			300.0	150.0	450.0	25	1.00%					
9		Aleros			300.0	150.0	450.0	25	1.00%					
10		Agregar Ventana			300.0	150.0	450.0	25	1.00%					
11		Arbol Caduco			62.0	31.0	93.0	25	1.00%					
12		Arbusto Caduco			40.0	20.0	60.0	25	1.00%					
13		Aislacion muro de chapa			96.0	48.0	144.0	25	1.00%					
14														
15		Aislaciones para Techos				\$ 24.80	\$ 12.40							
17		Materiales	Medida Comer.	Cantidad	Unidad	Precio \$	Indice/unid	Cant /#Unit						
19		Membrana	Rollo x 10m	10	m	\$ 37.00	1	\$ 3.70						
20		Cemento	Bolsa x 50Kg	50	kg	\$ 32.00	5	\$ 3.20						
21		Arena gru.	m3	1	m3	\$ 91.00	0.005	\$ 0.46						
22		Telgopor	Bolsa x 1/5m3	0.2	m3	\$ 32.00	0.07	\$ 11.20						
23		Ladrillos	Unidad	1	unidad	\$ 0.78	8	\$ 6.24						
24		Emulsión Asfáltica		18		\$ 84.00	0.5	\$ 2.33						
25							Total / m2	\$ 24.80	Indice MO					
26							M. de Obra	\$ 12.40						
27							TOTAL	\$ 37.19						
30		Cambio de lugar de 1 Ventana (1,20 m x 1,40 m)				\$ 42.58	\$ 21.29							

Fig. 1. Hoja de cálculo de "PROMETE-V": precios unitarios por estrategia.

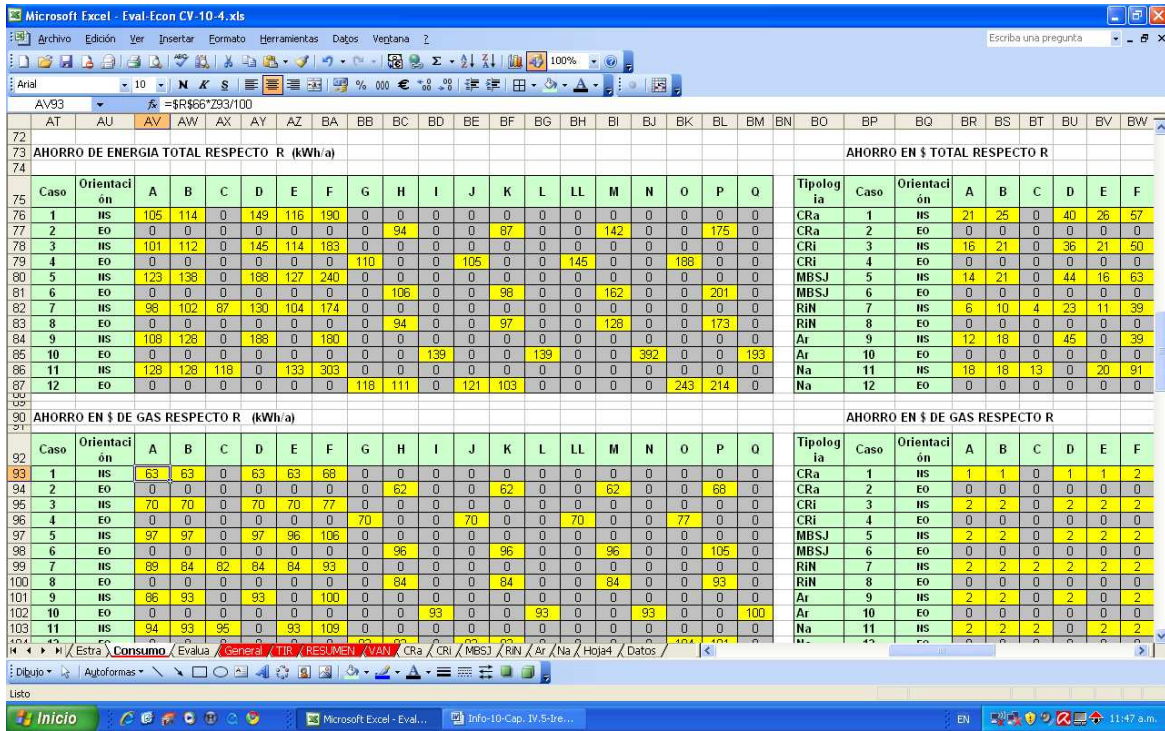


Fig. 2. Hoja de cálculo de "PROMETE-V": ahorro de energía en términos monetarios, por Alternativa

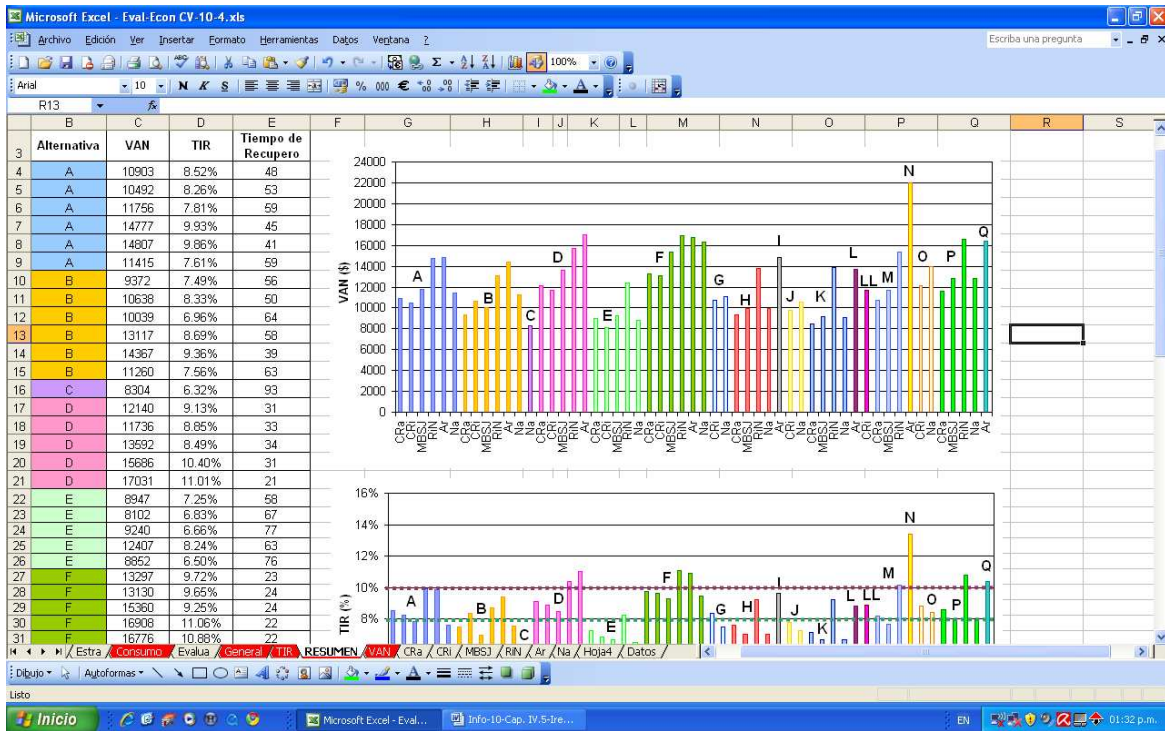


Fig. 3. Hoja de cálculo de "PROMETE-V": resultados finales de VAN, TIR y TR, por Alternativa y tipología.

DATOS INICIALES

Las estrategias bioclimáticas consideradas y su combinación en Alternativas se muestran en la Tabla 1, al igual que su aplicabilidad a cada tipología barrial apareada con su fachada orientada al Norte y al Oeste, que conforman los doce Casos de Estudio. Los cuadros habilitados se indican con el número 1 y se resaltan en color para hacerlos más visibles. El color amarillo expresa que todas las Alternativas de todos los Casos, con excepción del RiN, incorporan aislamiento térmico en el techo, porque no cumplen con el $K_{max.adm}$. Para cada Alternativa diferenciando por Caso apareado y orientación se calculó la superficie o las unidades asociadas a las mismas, conformando tablas por estrategia. Se definen criterios para reducir a la unidad de superficie el costo de las estrategias asociadas con áreas, basados en índices de proporciones de materiales y de mano de obra. También se asigna la vida útil correspondiente. Para los costos de mantenimiento se estipula un porcentaje de la I_i (Tabla 2).

Alternativa	Orientación Vivienda	Estrategias Anuales						Estrategias de Verano				Tipologías							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CRa	CRi	MBSJ	RiN	Ar	Na		
		Conservación: Aislación Térmica de						Ganancia Solar y/o Ventilación		Ventilación								Sombras	
		Techo	Muros	Ventanas (Burletes)	Ventanas (Persianas)	Cambio Ubicación ventana	Agregar ventana	Tubos	Pérgolas	Aleros	Vegetación								
A	NS	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1		
B	NS	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1		
C	NS	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1		
D	NS	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0		
E	NS	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1		
F	NS	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1		
G	EO	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1		
H	EO	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1		
I	EO	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0		
J	EO	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1		
K	EO	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1		
L	EO	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0		
LL	EO	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0		
M	EO	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0		
N	EO	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0		
O	EO	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1		
P	EO	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1		
Q	EO	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0		

Tabla 1. Alternativas bioclimáticas por Caso (tipología).

Estrategias	Costo de Materiales [\$/m ²]	Costo de M. De Obra [\$/m ²]	Total [\$/m ²]	Vida Útil [años]	Mantenimiento [%]
Aislación térmica de techo	24.8	12.4	37.2	25	0.50%
Cambio de ubicación de ventana	42.6	21.3	63.9	25	0.50%
Aislación térmica de muros exteriores	49.9	25.0	74.9	25	0.50%
Tubos de ventilación	308.9	154.5	463.4	25	0.50%
Pérgolas perimetrales	61.0	30.5	91.4	25	0.50%
Aislación de ventanas con burletes	0.6	0.3	0.9	3	0.10%
Aislación de ventanas con persianas	300.0	150.0	450.0	25	0.50%
Alero	300.0	150.0	450.0	25	0.50%
Agregar ventana	300.0	150.0	450.0	25	0.50%
Arbol caduco	62.0	31.0	93.0	25	0.50%
Arbusto caduco	40.0	20.0	60.0	25	0.50%
Aislacion muro de chapa	96.0	48.0	144.0	25	0.50%

Tabla 2. Costos unitarios y vida útil asociados a cada estrategia bioclimática.

El beneficio a obtener con las estrategias es el ahorro energético que posibiliten. Conforme a lo explicado en la metodología, se muestran aquí los resultados de las comparaciones efectuadas para la variante R de cada Caso, con el fin de definir este dato. Considerando las Cargas Térmicas calculadas en base a las Normas IRAM (11601, 2002; 11604, 2001; 11605, 1996; 11659-1, 2004; y 11659-2, 2007) como demanda energética teórica (Blasco Lucas, 2011) se comprueba que resulta muy superior a la demanda real estimada en base a mediciones (Rosés et al., 2011). Mientras que en los valores relativos estacionales la demanda energética teórica para climatización, la Q_{cal} es similar a la real del año 2006 (entre el 52% y 58%), los de Q_R superan el consumo real para refrigeración entre 15% y 22%. Por otro lado, los excedentes estacionales están entre 61% y 75% en calefacción y entre 91% y 94% en refrigeración (Tabla 3).

Tipología	Demanda Energética Teórica					% excedente respecto al Consumo Real		
	Calefacción	Refrigeración N1	Total	%Calefacción	%Refrigeración N1	Calefacción	Refrigeración N1	Total
CRa	10266	8413	18679	55	45	75	91	82
CRi	10293	8535	18828	55	45	72	92	81
MBSJ	13792	10641	24433	56	44	70	91	79
RiN	11447	9344	20791	55	45	69	94	80
Ar	9984	9165	19149	52	48	61	91	75
Na	12591	9113	21704	58	42	69	92	79

Tabla 3. Valores absolutos y relativos de la Demanda Energética Teórica Anual de la variante R-N1 para climatización comparada con los consumos reales medios del año 2006.

Sin embargo, al haber aplicado el método sistemáticamente para todas las alternativas del mismo modo, se considera que los valores relativos de Qi respecto a las variantes R son perfectamente válidos y pueden ser utilizados para comparaciones de la eficiencia de cada una (Tabla 4, Izq.). Las diferencias encontradas pueden deberse también a que las familias aceptan un nivel inferior de confort al que estipula la Norma. Para los consumos de Ri se adoptó un incremento de 50% en gas y 70% en electricidad sobre los consumos de climatización estimados en base a los datos reales, en función de la tendencia, los resultados se muestran en la Tabla 4, Der. A su vez, la Tabla 5 a la derecha contiene los datos de la tarifa unitaria de gas y de electricidad adoptada, y a la izquierda expone los valores de mercado inmobiliario de cada tipología.

Tipología	Caso	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	LL	M	N	O	P	Q
CRa	1	45	46		49	46	55												
CRa	2								44			44			48			54	
CRi	3	44	45		48	45	55												
CRi	4							45			44			48			55		
MBSJ	5	43	44		47	43	54												
MBSJ	6								32			32			36			43	
RiN	7	44	42	40	45	42	54												
RiN	8								38			38			42			51	
Ar	9	37	41		46		47												
Ar	10									43			43			48			49
Na	11	46	46	46		46	65												
Na	12							39	38		39	37					54	51	

Tipología	Consumo Anual de Climatización en R [kWh]		
	Gas	Electricidad	Total
CRa	3832	1327	5159
CRi	4336	1173	5509
MBSJ	6127	1655	7782
RiN	5338	959	6297
Ar	5867	1459	7326
Na	5809	1291	7100

Tabla 4. Porcentajes de ahorro energético respecto Ri (Izq.). Datos de consumo referencia considerados por Caso (Der.).

Servicio	TBgas		TBelectr.	PI	Pp	TC
	[\$/m³]	[\$/kWh]	[\$/kWh]	[%]	[%]	[\$/kWh]
Electricidad			0,3031	50%	50%	0,4547
Gas	0,147183	0,0230		30%	70%	0,1913

Tipología	Valor de mercado (\$)	Valor incrementado (\$)	VR de alternativa (\$)
CRa	250000	275000	41250
CRi	250000	275000	41250
MBSJ	300000	330000	49500
RiN	300000	330000	49500
Ar	300000	330000	49500
Na	300000	330000	49500

Tabla 5. Tarifa unitaria de gas y de electricidad (Izq.). Valores de mercado, incrementado (10%) y VR de alternativa incorporada (15%), por tipología (Der.).

RESULTADOS

Con los datos y la metodología descritos se obtienen los valores de la Tabla 6 para Ii por Caso y Alternativa, y de la Tabla 7 para los costos de mantenimiento anual respectivos. La Inversión inicial (Ii) y los costos de mantenimiento representan las erogaciones en el cálculo del flujo de caja o económico, mientras la primera se considera ejecutada en el año 0, los segundos se producen puntualmente o en forma constante a lo largo del periodo de análisis que generalmente se asume en 25 años para bienes de muy larga vida útil (VU) como resultan los relacionados con componentes constructivos que se incorporan a una vivienda (cuya VU se suele estimar en 50 años, aunque generalmente puede llegar a superar los 100 años sin problemas).

Tipología	Caso	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	LL	M	N	O	P	Q
CRa	1	6800	8457	0	6800	8907	6800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRa	2	0	0	0	0	0	0	0	7950	0	0	8564	0	0	7950	0	0	7950	0
CRi	3	7060	9040	0	7060	9610	6754	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRi	4	0	0	0	0	0	0	7071	0	0	7826	0	0	7071	0	0	7826	0	0
MBSJ	5	9264	11258	0	9264	11708	8958	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBSJ	6	0	0	0	0	0	0	0	10491	0	0	11030	0	0	10305	0	0	10305	0
RiN	7	5829	7480	7721	5829	8194	5829	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RiN	8	0	0	0	0	0	0	0	6646	0	0	6646	0	0	6099	0	0	6099	0
Ar	9	6080	6980	0	6080	0	6080	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ar	10	0	0	0	0	0	0	0	0	6807	0	0	7893	0	0	6807	0	0	6807
Na	11	9727	11766	12339	0	12216	9727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	12	0	0	0	0	0	0	9753	10646	0	10363	11256	0	0	0	0	10363	10646	0

Tabla 6. Inversión inicial (\$) por Caso y Alternativa (a febrero de 2011).

Dado que las diferencias de cargas térmicas existentes entre los Casos 1 y 2 de las viviendas apareadas según orientación es mínima, se redujo el universo de análisis a los Casos 1 en orientación NS (N1) y 2 en la EO (E2), que serían las situaciones más desfavorables en verano, estación crítica en el clima de la zona de estudio. Los VAN calculados con los datos explicitados anteriormente resultan positivos, en cuyo caso sería conveniente realizar la inversión, correspondiendo el mayor beneficio a la alternativa N (tipología Ar) y el menor a la alternativa C de la tipología Na. La ponderación por confort, aumenta los valores pero mantiene la relación proporcional existente entre los mismos.

Tipo-logia	Caso	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	LL	M	N	O	P	Q
CRa	1	34	42	0	34	44	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRa	2	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	43	0	0	40	0	0	40	0
CRi	3	35	45	0	35	48	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRi	4	0	0	0	0	0	0	35	0	0	39	0	0	35	0	0	39	0	0
MBSJ	5	46	56	0	46	58	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBSJ	6	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	55	0	0	51	0	0	51	0
RiN	7	29	37	38	29	41	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RiN	8	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0	33	0	0	30	0	0	30	0
Ar	9	30	35	0	30	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ar	10	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	39	0	0	34	0	0	34
Na	11	48	59	62	0	61	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	12	0	0	0	0	0	0	49	53	0	52	56	0	0	0	0	52	53	0

Tabla 7. Costos anuales de mantenimiento (\$) por Caso y Alternativa (a febrero de 2011).

Tipo-logia	Caso	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	LL	M	N	O	P	Q
CRa	1	177	193	0	256	197	330	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRa	2	0	0	0	0	0	0	0	156	0	0	144	0	0	244	0	0	303	0
CRi	3	168	187	0	248	191	316	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRi	4	0	0	0	0	0	0	184	0	0	175	0	0	248	0	0	325	0	0
MBSJ	5	203	231	0	321	211	413	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBSJ	6	0	0	0	0	0	0	0	173	0	0	157	0	0	274	0	0	342	0
RiN	7	159	167	140	218	171	296	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RiN	8	0	0	0	0	0	0	0	152	0	0	158	0	0	215	0	0	295	0
Ar	9	179	213	0	321	0	305	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ar	10	0	0	0	0	0	0	0	0	233	0	0	233	0	0	689	0	0	329
Na	11	213	214	194	0	221	525	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	12	0	0	0	0	0	0	195	183	0	201	168	0	0	0	0	418	367	0

Tabla 8. Ahorro anual de consumo energético total (kWh/año) por Caso y Alternativa.

Tipo-logia	Caso	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	LL	M	N	O	P	Q
CRa	1	62	75	0	123	78	174	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRa	2	0	0	0	0	0	0	0	47	0	0	37	0	0	115	0	0	153	0
CRi	3	47	62	0	109	65	153	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRi	4	0	0	0	0	0	0	59	0	0	52	0	0	108	0	0	160	0	0
MBSJ	5	42	63	0	133	49	193	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBSJ	6	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	7	0	0	97	0	0	140	0
RiN	7	18	30	11	69	33	118	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RiN	8	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	23	0	0	66	0	0	117	0
Ar	9	37	54	0	137	0	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ar	10	0	0	0	0	0	0	0	0	69	0	0	69	0	0	422	0	0	136
Na	11	53	55	38	0	60	277	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	12	0	0	0	0	0	0	41	32	0	45	21	0	0	0	0	200	163	0

Tabla 9. Ahorro anual de consumo energético total en términos monetarios (\$/año) por Caso y Alternativa.

Tipo-logia	Caso	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	LL	M	N	O	P	Q
CRa	1	4253	2636	0	4808	2192	5268	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRa	2	0	0	0	0	0	0	0	2860	0	0	2134	0	0	3475	0	0	3828	0
CRi	3	3826	1892	0	4385	1322	5108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRi	4	0	0	0	0	0	0	3926	0	0	3072	0	0	4372	0	0	4048	0	0
MBSJ	5	3649	1760	0	4474	1160	5341	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBSJ	6	0	0	0	0	0	0	0	2110	0	0	1436	0	0	3010	0	0	3397	0
RiN	7	7035	5415	4953	7494	4695	7940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RiN	8	0	0	0	0	0	0	0	6184	0	0	6225	0	0	7191	0	0	7653	0
Ar	9	6914	6128	0	7829	0	7648	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ar	10	0	0	0	0	0	0	0	0	6451	0	0	5315	0	0	9652	0	0	7056
Na	11	3269	1154	360	0	736	5302	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	12	0	0	0	0	0	0	3132	2049	0	2532	1316	0	0	0	0	3943	3242	0

Tabla 10. VAN con tasa de descuento del 10%, por Caso y Alternativa, sin considerar ponderación por confort.

Tipo- logía	Caso	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	LL	M	N	O	P	Q
CRa	1	4933	3904	0	5828	3528	7648	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRa	2	0	0	0	0	0	0	0	4848	0	0	4703	0	0	5861	0	0	6611	0
CRi	3	4532	3248	0	5444	2763	7472	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CRi	4	0	0	0	0	0	0	4986	0	0	5029	0	0	6140	0	0	6787	0	0
MBSJ	5	4576	3448	0	5864	2916	8476	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MBSJ	6	0	0	0	0	0	0	0	4733	0	0	4745	0	0	6101	0	0	7003	0
RiN	7	7618	6537	6111	8369	5924	9980	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RiN	8	0	0	0	0	0	0	0	7845	0	0	8218	0	0	9020	0	0	9788	0
Ar	9	7522	7175	0	8741	0	9776	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ar	10	0	0	0	0	0	0	0	0	7472	0	0	6894	0	0	11694	0	0	9439
Na	11	4242	2919	2211	0	2568	8706	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Na	12	0	0	0	0	0	0	4595	4710	0	5123	4693	0	0	0	0	7570	6968	0

Tabla 11. VAN con tasa de descuento del 10%, por Caso y Alternativa considerando ponderación por confort.

Se armó una planilla discriminando para cada uno de los 25 años por tipología y alternativa los ingresos, egresos y el VR, obteniendo el flujo neto. Sobre ella se aplicaron las fórmulas de VAN, TIR y TR, para una tasa de descuento del 4%. Los resultados obtenidos se muestran en las Figs. 4 a 6.

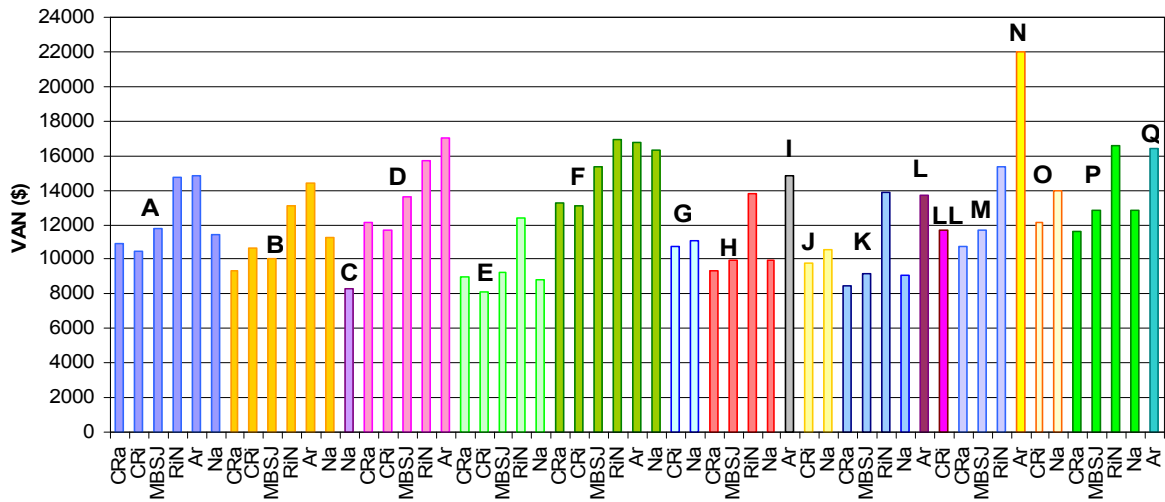


Fig. 4. VAN por tipología y Alternativa para tasa de descuento del 4%, calculado utilizando flujo de fondos.

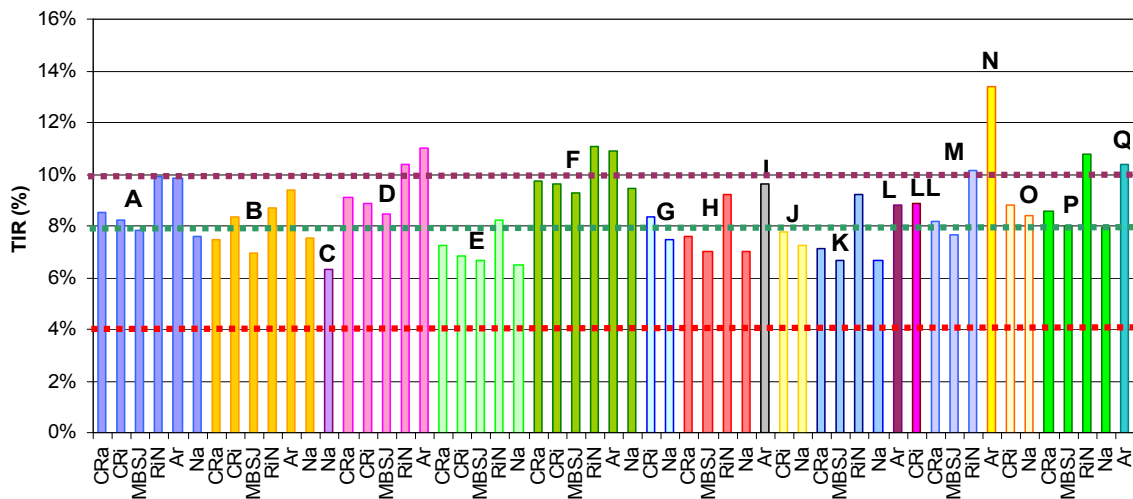


Fig. 5. TIR por tipología y Alternativa para tasa de descuento del 4%.

El efecto de la disminución de la tasa de descuento redonda en superiores VAN, lo cual indicaría una mayor conveniencia de realizar la inversión. La Fig. 4 facilita la comparación de variantes, pudiendo observarse que los menores VAN se producen también en las alternativas E (tipología CRi) y K (tipología CRa) y los mayores en la N (Ar), F (RiN, Ar y Na), en la P (RiN) y en la Q (Ar), orientando de este modo hacia la mejor decisión, desde el punto de vista económico.

Las TIR guardan las mismas proporciones entre alternativas y tipologías como se ve en la Fig. 5, donde se han superpuesto 3 líneas de corte en el 4%, el 8% y el 10%, que podrían ser los valores de referencia a utilizar, según el nivel de beneficio que se desea obtener.

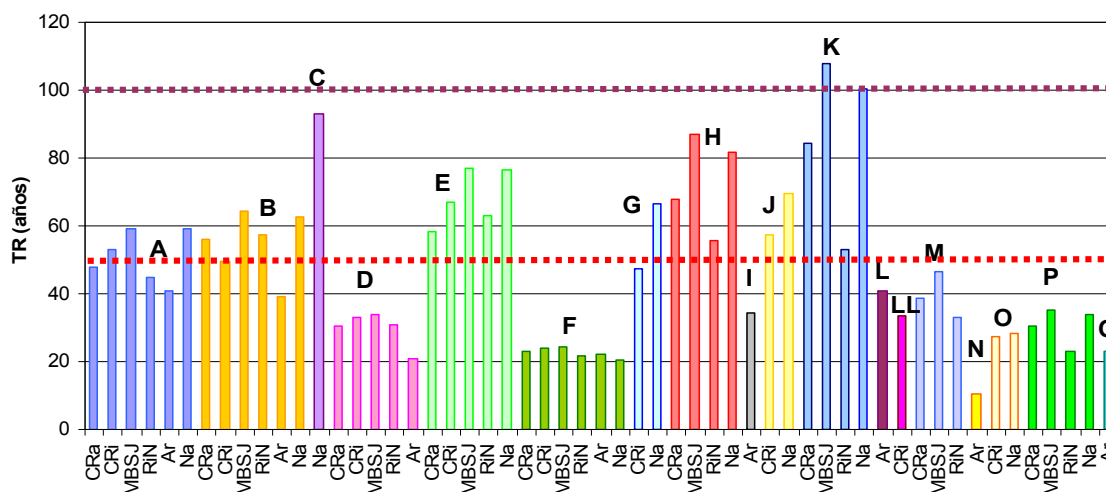


Fig. 6. TR por tipología y Alternativa para tasa de descuento del 4%.

En la Fig. 6, los TR parecerían elevados comparados con proyectos que analizan bienes de menor vida útil que los casos aquí considerados. Las líneas de referencia situadas a los 50 y 100 años, guardan relación con la VU de la edificación, y se observa que la alternativa K (MBSJ) supera la máxima duración. La recuperación más pronta del capital invertido la tienen las alternativas N (Ar) con 10 años, las F para todas las tipologías, entre 20 y 24 años, la D (Ar) con 21 años, la Q (Ar) y la P (RiN) con 23 años.

CONCLUSIONES

Aún cuando las inversiones necesarias son moderadas (entre \$6000 y \$12000) y el ahorro energético que producen es significativo (entre 32% y 55%), a los valores actuales no resultarían proyectos rentables si el único beneficio económico es el asociado a la energía, pues las tarifas de electricidad y de gas son extremadamente bajas en relación a los costos de construcción.

Para que el VAN resulte mayor que cero, la TIR mayor que el 6% (usual en empresas distribuidoras de energía) y el TR menor a 50 años (VU de edificios), fue necesario incrementar 50% y 70% respectivamente las tarifas y los consumos de referencia de gas y de electricidad, utilizar una tasa de descuento del 4%, suponer costos de mantenimiento muy acotados, y considerar un VR generoso, pero incluso así hay Alternativas que no resultarían de ningún modo rentables para inversores privados.

El uso de los tres índices brinda una información más completa para evaluar las distintas Alternativas, pues cada uno está asociado a una variable económica de importancia, que puede ser más clara que las otras según la situación general y los objetivos del inversor.

El análisis microeconómico con el método del Valor Presente considerando el ciclo de vida permite definir las variables que conviene modificar para lograr que la ejecución de las alternativas resulte conveniente desde el punto de vista económico-financiero. Sin embargo, las condiciones de entorno podrían influir para variar el posicionamiento del inversor, en caso que se trate del estado, el cual podría adoptar políticas públicas para la protección del medio ambiente, entonces la interpretación que realizaría sería en función de mayores escalas de acción con ponderación de externalidades que no han sido consideradas en el análisis realizado.

El soporte informático "PROMETE-V" elaborado facilita realizar la evaluación simultánea de doce estrategias aplicadas en diferentes combinaciones (Alternativas) sobre doce Casos (seis tipologías de vivienda en dos orientaciones diferentes), y agilizar los análisis de sensibilidad para determinar las variables de riesgo, cuantificando los efectos en diferentes escenarios futuros.

Conforme a los datos provisionales del último censo nacional de población (INDEC, 2010), la Provincia de San Juan contaba con un total de 194.188 viviendas, habiendo incrementado en un 77% la cantidad existente en el 2001, y la población a su vez aumentó poco menos del 1%, indicando que se estaría reduciendo el déficit habitacional histórico, sin embargo aún no se conocen la cantidad de viviendas precarias relevadas. En la Capital de San Juan se concentran 39.908, para albergar a 108.720 habitantes. Es decir, que en el lapso de 9 años se han construido o recuperado 84.186 viviendas, que podrían haber incorporado conceptos de bioclimatismo y sustentabilidad.

Considerando números globales en base a los resultados presentados en este artículo, se podría suponer un consumo energético anual promedio para climatización de 5000 kWh por vivienda implicando un gasto de \$1000 por hogar, para un ahorro medio de 50% a través de estrategias bioclimáticas. Si esas medidas se hubiesen aplicado a la totalidad de nuevas viviendas, se habría logrado por año un ahorro de aproximadamente \$42.000.000, y alrededor de 382.000 MWh, disminuyendo proporcionalmente la emisión de CO2 y el uso de recursos escasos.

Multiplicados por un factor 5, dado que las viviendas se fueron construyendo a lo largo de todo el período, ascenderían a \$210.000.000 y 19.133.000 MWh. Visto de este modo, el sector residencial se transforma en una usina que produce tales beneficios para esa potencia instalada, con una inversión de \$758 millones (suponiendo una inversión individual promedio de \$9000), que a partir de unos 20 años comenzaría a dar la renta anual antes calculada, durante más de 40 años.

Es a esta escala que los números toman su dimensión adecuada, y se pueden apreciar los verdaderos beneficios que mínimas inversiones individuales producirían a la sociedad en su conjunto. ¿Cuántas cosas buenas se podrían hacer con esas cantidades de dinero y de energía que actualmente se han convertido en “hipotecas energéticas” no deseadas, para cada usuario y para toda la provincia?.

REFERENCIAS

- Arboit M, Arena P, de Rosa C. (2008). Evaluación térmica y económica de componentes constructivos con tecnologías disponibles, en viviendas unifamiliares en la región de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 12, 01.97-01.104.
- Bierman H. y S. Smidt (1977). El presupuesto de bienes de capital. Fondo de la Cultura Económica, pp. 78. México.
- Blasco Lucas I.; Garcés F. (1997). Método de análisis microeconómico de varios tipos de sistemas térmicos solares. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*; Vol. II, pp. 33-42.
- Blasco Lucas I. (2011). Evaluación del comportamiento térmico-energético de alternativas bioclimáticas de mejoras en tipologías FONAVI. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 15, tema 5.
- Esteves A., Vertraete J., Vilapriño R. (1992). Evaluación económica de conservación de energía y estrategias de diseño bioclimático en viviendas de interés social. CRICYT, Mendoza.
- IRAM 11601 (2002). Aislamiento de edificios. Métodos de cálculo. Tercera edición. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 11603 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 11604 (2001). Aislamiento Térmico de Edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Segunda edición. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 11605 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad. Incluye modificación N°1-2002. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 11659-1 (2004). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 1: Vocabulario, definiciones y tablas de datos. Primera edición. Instituto Argentino de Normalización.
- IRAM 11659-2 (2007). Aislamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en Refrigeración. Parte 2: Edificios para viviendas. Primera edición. Instituto Argentino de Normalización.
- Rosés R., Blasco Lucas I., Facchini M., Hoesé L., Avelín R. (2011). Consumo y climatización. Informe final del proyecto PIC 21A813. Capítulo II-5, pp. 127-158. IRPHa-FAUD-UNSJ.
- Samuelson P. Nordhaus W. (2004). Microeconomía. Edición: 17. McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. NY.
- Sulaiman H., Blasco Lucas I., Olsina F. (2010). Procedimiento microeconómico de evaluación térmico-energética unitaria de envolventes edilicias: PROMETE-U. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 25, pp. 1-10.
- Vertraete J., Vilapriño R. (2001). Evaluación económica de conservación de energía y estrategias de diseño bioclimático en viviendas sociales. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, Vol. 5, pp. 01.33-01.38. ASADES, Salta, Argentina.
- Yarke E.; Alonso Castillo P. (2006). Un programa de cálculo para optimizar la relación entre sustentabilidad energética y rentabilidad de sistemas solares pasivos: el programa OPTIMIX - versión 3.1. XI Encuentro Nacional de Tecnología no Ambiente Construido. Florianópolis/ SC.Brasil.

ABSTRACT

The lifecycle microeconomic-method is used in order to evaluate monetary the application of combinations of twelve bioclimatic strategies (alternatives) on twelve case studies consisting of six neighborhood typologies northern and eastern oriented, located in the San Juan city, Argentina, which have been analyzed in previous research. The indexes used are the net present value, internal rate of return and the investment recovery time, since the three together provide clear information to make well founded decisions about the advisability of the expenses associated with each variant. Energy saving, which is the benefit of every alternative are estimated on the basis of theoretical calculations and measurements. The developed computer support, PROMISE-V, allows sensitivity analysis to a number of factors in a single or simultaneous way. The results indicate that reference consumption (year 2006) for thermal conditioning would need to increase by 50% in gas and 70% in electricity, as well as the respective costs, if it is desired that the expenditure becomes of interest to private investors.

Keywords: Microeconomics, assessment, bioclimatic, alternatives, existing dwellings