

## 13. Rehabilitación termo-energética de envolvente en vivienda barrial masiva, localizada en clima semi-árido de Argentina

**Blasco Lucas, Irene** (\*)

(\*) Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat, Facultad de Arquitectura Urbanismo y  
Diseño, Universidad Nacional de San Juan, Av. Ignacio de La Roza y Meglioli, San Juan,  
C.P.5400, Argentina. iblasco@faud.com.ar, tel: +54 264 4232395 int.318

**Resumen** Con el fin de proponer variantes que mejoren el comportamiento termo-energético de la envolvente en viviendas barriales masivas construidas en el Gran San Juan -ciudad oasis inserta en clima semi-árido de Argentina-, se realiza una investigación compuesta por tres instancias: a) Análisis climático de un año tipo conformado por el promedio de 10 años, efectuado con diferentes métodos para determinar las estrategias de diseño más apropiadas para la región; b) Diagnóstico y caracterización higrotérmica y energética de las viviendas, y de sus usuarios, a partir de cálculos estacionarios, mediciones y encuestas en tres años-testigo; c) Evaluación micro-económica en el ciclo de vida (EMECV) de las diferentes alternativas seleccionadas para contribuir a una mayor eficiencia termo-energética de la vivienda. Para ello, se desarrollan y aplican procedimientos y herramientas específicos, pasibles de utilizar en trabajos similares. En el período de 14 años abarcado (1999-2013), los consumos energéticos para climatización se incrementaron en el orden del 1121%, y el uso de equipos de aire acondicionado frío-calor creció en un 386%. Los ahorros energéticos edilicios factibles de obtener varían entre 20% y 60% según el nivel de inversión que se realice. Mientras que en los años 1999 y 2006 los índices de la EMECV no eran rentables, en la actualidad con el encarecimiento de los fluidos energéticos es más conveniente el panorama, con una amortización entre 8 y 14 años, calculado con una tasa anual del 2% en 25 años, y un valor de recupero del 15% de la inversión inicial.

**Palabras clave** Rehabilitación barrial, Eficiencia termo-energética, Evaluación micro-económica

## 1 Introducción

Argentina declaró en diciembre de 2015 estado de emergencia energética hasta fines de 2017, debido a que el sistema se encuentra al borde del colapso.

Frente este preocupante panorama, el sector residencial se muestra como el más indicado para emprender políticas de eficiencia energética (Evans 2010, Czajkowski y Gomez 2011), pues por un lado, representa el 26% del consumo nacional de energía, y por otro, ha evidenciado el mayor incremento en el período 1999-2014, del orden de 59%.

En la ciudad de San Juan su aumento varió entre un 25% para usuarios muy humildes y un 100% para aquellos de bajos y medios recursos. En esta ciudad-oasis existen gran cantidad de barrios construidos con baja densidad edilicia, destinados a familias de nivel socio-económico medio y bajo.

La característica telúrica de la zona, ha propiciado un descuido de la calidad de edificación en cuanto a las condiciones de confort higrotérmico, lo cual resulta crítico por el clima semi-árido del lugar. Ante este problema, se formulan variantes tecnológicas para mejorar el desempeño termo-energético de la envolvente (Blasco Lucas 2011) en un caso de vivienda barrial masiva representativa y se evalúa el rendimiento en cada una, asociado a su costo en la vida útil.

## 2 Metodología

La investigación se compuso de tres instancias conformadas por varios aspectos:

- a) *Análisis de un “Año Tipo Climático” (ATC)* conformado por el promedio de 10 años, aplicando cuatro métodos para determinar las estrategias de diseño apropiadas para la región.
  - *Elaboración del ATC:* Se utilizaron las mediciones registradas durante los años 2002 a 2012 (Pontoriero y Hoesé 2013) con la estación meteorológica marca DAVIS instalada en el techo del Instituto de Energía Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de San Juan (IEE-FI-UNSJ). Los parámetros climáticos procesados fueron Temperatura, Humedad Relativa e Irradiancia Solar. Las bases de datos se conformaron en planillas electrónicas de MS-Excel programadas.
  - *Definición de estrategias bioclimáticas:* El cómputo de las necesidades temporales de climatización mediante estrategias de diseño adaptadas al clima se realizó aplicando los modelos Bruce Novell ampliado (BNA; Mesa 2002), Architectural Bioclimatic Classification (ABC; USC 2006), Método Mahony-Evans (MET-ME, Blasco Lucas 2013) y Givoni-Watson-Szokolay - Estrategias Bioclimáticas Horarias (GWS-EBH; Blasco Lucas 2013).

- b) *Diagnóstico y caracterización higrotérmica y energética* de las viviendas, y de sus usuarios, a partir de cómputos estacionarios, mediciones, y encuestas.
- Se aplican los procedimientos recomendados por la serie 11600 de IRAM (Instituto de Racionalización Argentina de Materiales), con el soporte informático elaborado “*Modelo para cálculo de K y G*” (*KG-MOD*) (Blasco Lucas 2013) en la vivienda original y en los casos mejorados.
  - Para la evaluación de los consumos se utilizan los registros provistos por las empresas distribuidoras de gas y electricidad, en tres años testigo (1999, 2006 y 2013).
  - La evaluación del monitoreo higrotérmico realizado con dataloggers tipo HOBO se hizo con el programa PROMEDI-HTL (Procesamiento de Mediciones Higrotérmicas y Lumínicas) (Blasco Lucas 2013)
  - El tratamiento estadístico de las encuestas de tipo demográfico y de opinión relevadas oportunamente sobre amplia muestra, permitió obtener información respecto la composición familiar, el equipamiento de la vivienda y las apreciaciones de los usuarios sobre su nivel de confort.
- c) *Evaluación micro-económica en el ciclo de vida (EMECV)* de las diferentes alternativas seleccionadas para contribuir a una mayor eficiencia termoenergética de la vivienda.
- Se utiliza el método del Valor Presente (VP) (Sapag Chain 2008) también denominado de análisis de Costos en el Ciclo de Vida (CCV) (Duffy & Beckmann 1993).
  - Para comparar resultados se seleccionan tres Índices de Rentabilidad (IR): el Valor Actualizado Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Tiempo de Retorno o Recuperación de la Inversión (TR), dado que los tres en conjunto brindan una clara información para tomar decisiones bien fundadas. La interpretación de los resultados está sujeta a las condiciones de entorno y a las políticas que se derivan de ellas.

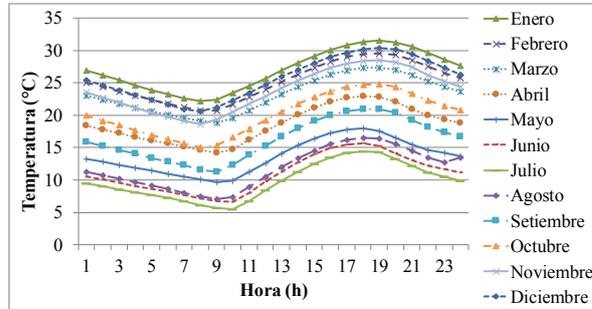
### **3 Año Tipo Climático y Definición de Estrategias Bioclimáticas**

Del ATC horario se obtienen días tipo mensuales, que se representan en gráficas lineales (Figs. 1 y 2) y de superficies (Fig. 3), en sus valores estadísticos mensuales medios, máximos y mínimos, como también los calculados en base a ellos, tales como las amplitudes de temperatura y humedad relativa, y las horas diarias de asoleamiento. Tres de los cuatro modelos utilizados para la definición de las estrategias bioclimáticas en base a los datos del ATC permiten obtener resultados cuantitativos en distintos niveles de desagregación, y uno solo cualitativos.

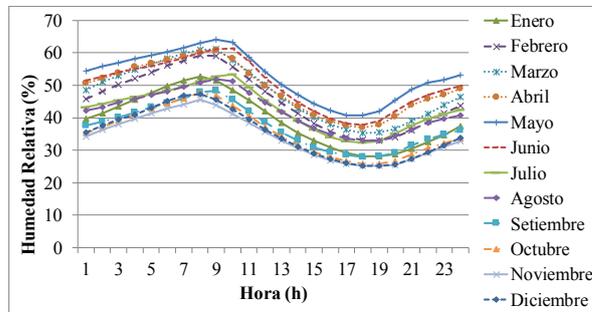
El desglose de las estrategias es menor en BNA y mayor en MET-ME que es un buen complemento de los otros modelos, pues realiza recomendaciones edilicias y constructivas. En la Fig. 4 y la Tabla 1 se sintetizan los resultados obtenidos

ordenados de mayor a menor para cada método. Todos coinciden en las necesidades con cierto margen de diferencia en los valores.

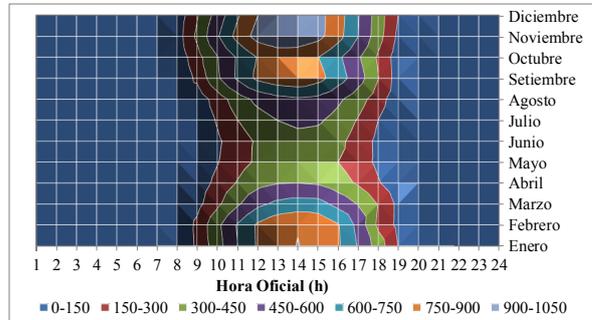
**Fig. 1** Gráfica lineal de Temperaturas medias en días tipo mensuales del ATC



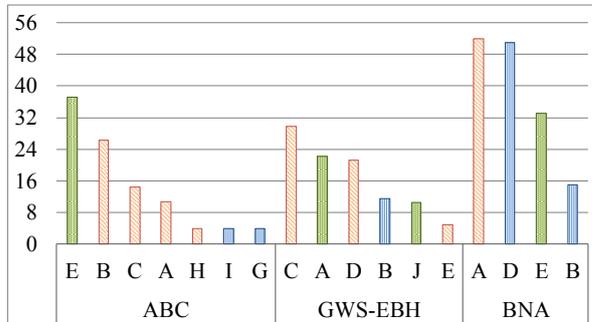
**Fig. 2** Gráfica lineal de Humedad Relativa media en días tipo mensuales del ATC



**Fig. 3** Gráfica de superficie de Irradiancia media en días tipo mensuales del ATC



**Fig. 4** Validez anual de estrategias bioclimáticas según tres métodos, en base al ATC



**Tabla 1** Síntesis de Estrategias Bioclimáticas según cuatro Modelos

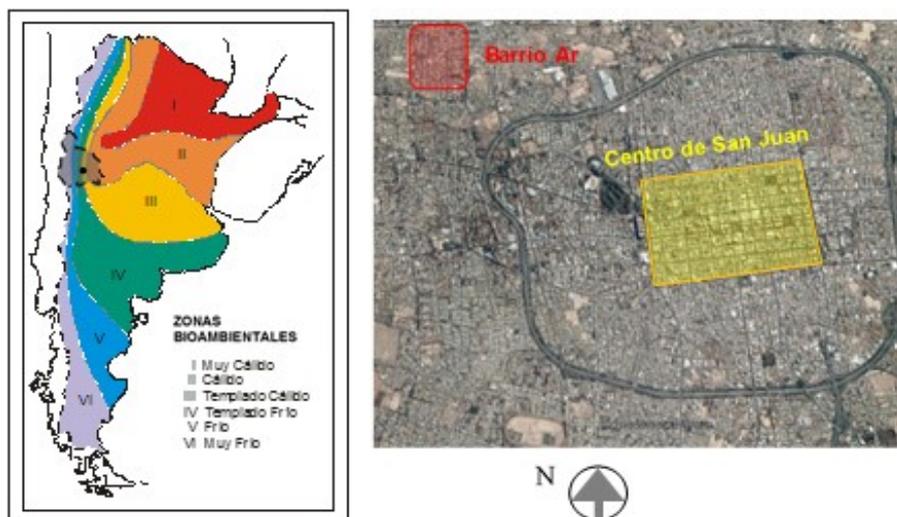
Modelo	Código	% Anual - Aspecto	Estrategias
ABC	E	37.1	Confort térmico
	B	26.3	Calefacción solar
	C	14.4	Inercia térmica (Calefacción)
	A	10.8	Calefacción artificial
	H	3.8	Inercia térmica (Refrescamiento)
	I	3.8	Refrescamiento evaporativo
	G	3.8	Ventilación nocturna
GWS-EBH	C	29.9	Inercia térmica (calefacción) + ganancias internas
	A	22.2	Confort térmico + Sombra
	D	21.2	Inercia térmica (Calefacción) + ganancias internas + solar pasiva
	B	11.5	Confort térmico ampliado + sombra
	J	10.4	Inercia térmica (Enfriamiento) + enfriamiento evaporativo + ventilación selectiva
	E	4.9	Inercia térmica (Calefacción) + ganancias internas + solar pasiva + solar activa
BNA	A	52.0	Calefacción
	D	51.0	Sombra
	E	33.0	Confort
	B	15.0	Refrescamiento evaporativo
MET-ME	A	Tipología	Organización cerrada con patio interior, y edificio compacto
	B	Muros, techos y pisos	Pesados en el exterior y en el interior, con transmisión térmica diferida más de 8 horas
	C	Ventanas	10% a 20% de superficie de muros, con protección sola, ubicadas al Norte y al Sur, a la altura del cuerpo y a barlovento para favorecer ventilación cruzada
	D	Entorno	Refrescamiento evaporativo

Los colores destacan: verde el confort, rosa la calefacción y celeste el refrescamiento.

#### 4 Diagnóstico Higrotérmico-Energético

El caso seleccionado para realizar el estudio es el barrio Teniente General Pedro Eugenio Aramburu (Ar). Construido entre 1983 y 1985, dista 5 Km del centro en el suburbio Noroeste de la ciudad de San Juan, Argentina (Blasco Lucas 2011)

(Fig. 5). Las coordenadas terrestres de la ciudad son: Latitud  $-31^{\circ} 32'$ ; Longitud  $-68^{\circ} 71'$ , y ASNM 620 m. Ar está compuesto por 103 bloques edilicios con 226 departamentos y 383 viviendas individuales de 2, 3 y 4 dormitorios (Fig. 6). Se acota el análisis a la tipología aislada de 3 dormitorios, por ser la más numerosa (Fig. 7).



**Fig. 5** Zonas Bioambientales de Argentina según Norma IRAM 11603 (2012) con ubicación geográfica de la Provincia y la ciudad de San Juan (Izq.), y del barrio Ar en la misma (Der.)



**Fig. 6** Planimetría del Barrio Ar (Izq.). Vistas (Der.) de vivienda colectiva (Sup.) e individual (Inf.)

La distribución de las viviendas en Ar es una “tira” continua de edificación en la manzana, pues son apareadas y no dejan espacios libres laterales, pero cuentan con 3m de retiro en el frente, y un espacio semi-cubierto amplio en el ingreso.

La tipología se implanta con su fachada orientada indistintamente hacia cualquier cuadrante, estando el 56% casi en partes iguales en dirección N-S y S-N, que son las óptimas para favorecer la ventilación cruzada, según se concluyó en el análisis bioclimático. La superficie cubierta es de 71.18m<sup>2</sup> y el volumen de 170.83m<sup>3</sup>, con 0.75 m<sup>-1</sup> de Factor de Forma, 19 % de Coeficiente de Fenestración, y 20.5% de volumen relativo de masa térmica (Blasco Lucas 2011).



**Fig. 7** Vistas, planta y fachada de las viviendas apareadas de tres dormitorios

En la Tabla 2 se resume la Transmitancia Térmica K de los componentes constructivos y su desviación de los valores admisibles según la Norma IRAM 11605 (2002) para una calidad media de edificación (B) en la Zona Bioambiental IIIa donde se ubica el barrio (Fig. 5). Los K de los muros superan entre 22% y 133% los umbrales estipulados.

**Tabla 2** Transmitancia Térmica K de componentes y diferencias con los admisibles estipulados por la Norma IRAM 11605 (2002) para verano y para invierno

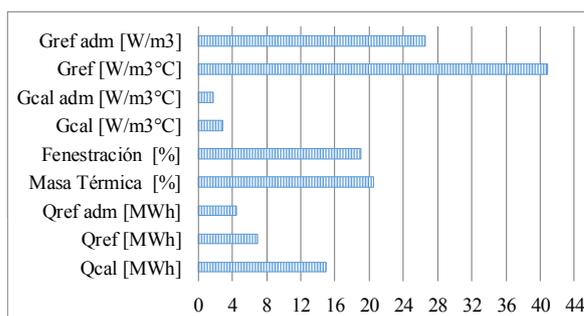
COMPONENTE o MATERIAL	Trasmitancia Térmica K	Diferencia K Verano		Diferencia K Invierno	
	[W/m <sup>2</sup> °C]	[W/m <sup>2</sup> °C]	[%]	[W/m <sup>2</sup> °C]	[%]
Muro Bloque	2.33	-1.08	-86	-1.33	-133
Muro Lindero	1.93	-0.68	-54	-0.93	-93
Techo	0.65	-0.14	-29	0.18	22
Piso	0.40	0.05	11	0.43	51
Puertas Madera	2.29	-1.04	-83	-1.29	-129

Vidrio	5.75	-4.50	-360	-4.75	-475
Chapa Metálica	5.88	-4.63	-371	-4.88	-488

Los muros exteriores son de bloques huecos de hormigón de 19cm de espesor revocados en ambas caras, la cubierta está compuesta por 10cm de hormigón armado y 8cm de granulado volcánico, y las carpinterías son de chapa doblada de baja calidad y vidrio simple. El K total de la envolvente es de  $1.69\text{W/m}^2\text{°C}$ .

El Coeficiente Volumétrico Global de calefacción  $G_{cal}$  es de  $2.87\text{W/m}^3\text{°C}$ , y el de refrigeración  $G_{ref}$  es  $40.83\text{W/m}^3$ , y superan respectivamente en 69% y 54% los umbrales establecidos por las Normas IRAM 11604 (2001) y 11659-2 (2007).

El cálculo de la carga térmica total anual resulta en total 21.36 MWh correspondiendo 14.99 MWh a calefacción ( $Q_{cal}$ ) y 6.98 MWh a refrigeración ( $Q_{ref}$ ) (Fig. 8), para temperaturas de confort de  $20\text{°C}$  en invierno y  $24\text{°C}$  en verano, con 1000h de necesidad de refrescamiento (42 días). Sin embargo, los cálculos realizados en base a mediciones reales indican consumos menores en 76% y 82% respectivamente, sin alcanzar tales condiciones de confort, las cuales fueron relevadas mediante encuestas y contrastadas con el monitoreo térmico.



**Fig. 8** Índices morfológico-dimensionales y térmicos de calefacción y refrigeración

Aplicando el procedimiento elaborado en Blasco Lucas et al. (2012) sobre los tres años testigo analizados se estima que mientras en 1999 el 81% de las viviendas carecían de equipos de aire acondicionado (AA), en 2013 el 83% poseían artefactos de AA con consumo normal e intenso, lo cual se tradujo en la demanda eléctrica, alcanzando incrementos de 1121% entre 1999 y 2013, y de 242% entre 2006 y 2013. El consumo de gas, mayormente utilizado para calefacción, tuvo un aumento de 30% entre 2013 y 1999, aunque descendió un 13% entre 2006 y 2013.

En base al diagnóstico obtenido, en la Tabla 3 se proponen medidas constructivas sencillas de mejoras, que responden a algunas de las estrategias bioclimáticas antes detalladas (López Asiaín 2002). Las de validez anual aportan a la conservación energética mediante la incorporación de aislaciones térmicas y sellado de infiltraciones, mientras que las apropiadas solo para verano, proveen sombra, refrescamiento evaporativo, y ventilación cruzada selectiva mediante ductos en las viviendas orientadas hacia el Este o el Oeste, que representan el 44% del total.

De este modo se conforman en total siete posibilidades, las cuales se combinan para dar lugar a ocho alternativas, cuatro de orientación al Norte y cuatro al Este, que se identifican con letras. A fin de facilitar el cómputo métrico se dibujan los detalles de cada variante, como lo representan las Figs. 9 y 10, para el caso F.

Se realiza el cálculo térmico-energético de cada alternativa y se determina el porcentaje de ahorro posible comparado a la vivienda original. Estos valores relativos que varían entre 33% y 56% (Tabla 4) se aplican sobre los consumos reales incrementados en un 30% para gas y un 200% para electricidad, atendiendo parcialmente la tendencia creciente descrita en párrafos anteriores, y se multiplican por los costos unitarios de cada fluido energético.

**Tabla 3** Alternativas constructivas por Estrategia Bioclimática y orientación de la vivienda

Orientación Vivienda	Alternativa	Conservación: Aislación Térmica				Ventilación	Sombras	
		1	2	3	4	5	6	7
		Techo	Muros	Aberturas (Burletes)	Ventanas (Persianas)	Tubos	Pérgolas	Vegetación
NS	A	X		X				X
	B	X		X			X	X
	C	X		X	X			X
	D	X	X	X				X
EO	E	X		X		X		X
	F	X		X		X	X	X
	G	X		X	X	X		X
	H	X	X	X		X		X

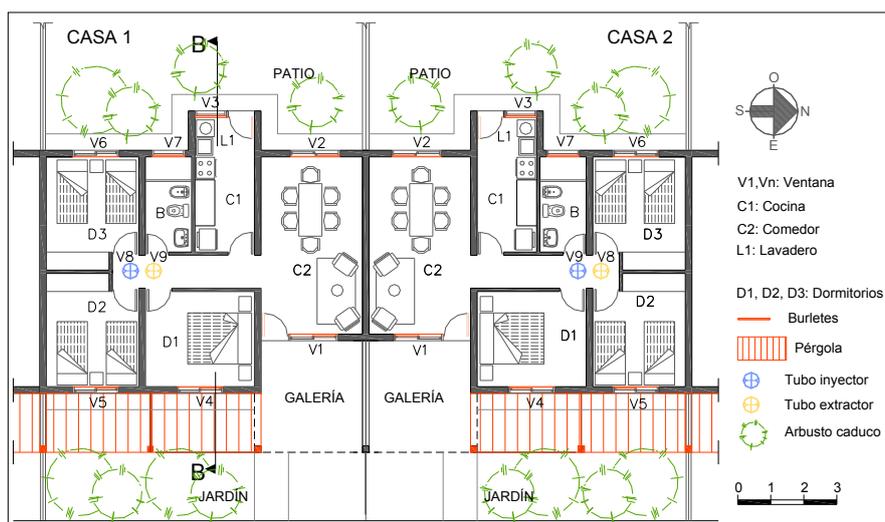


Fig. 9 Planta de las viviendas con las mejoras propuestas en la alternativa F

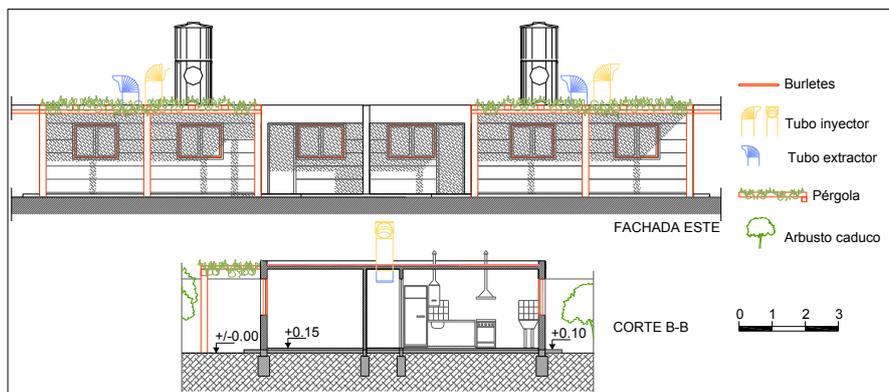


Fig. 10 Fachada y corte de las viviendas con las mejoras propuestas en la alternativa F

## 5 Evaluación Micro-Económica en el Ciclo de Vida

El cálculo de costos de cada alternativa se obtiene sumando los precios de mercado de las estrategias que la componen -a valores de agosto de 2016- reducidos a la unidad de superficie, y multiplicados por el área respectiva. En la Tabla 4 se muestran los resultados de costos y de ahorro energético para cada caso.

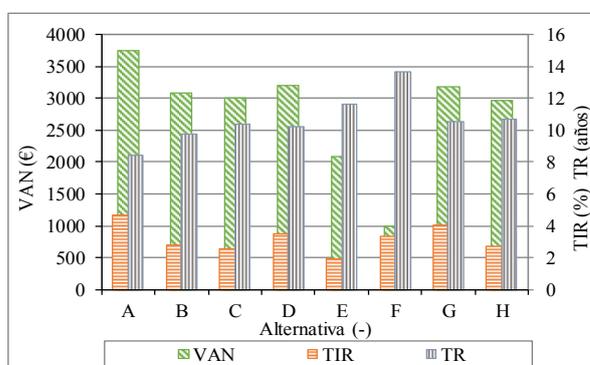
Tabla 4 Resultados de costos (€ = \$AR 16.18) y de ahorro energético (%) por alternativa

Alternativa	Inversión inicial (€)	Mantenim. anual (€)	VA Operación (€)	Ahorro eléctrico (%)	Ahorro gas (%)	Ahorro total (%)
A	4,428	21	398	4	29	33
B	5,160	24	470	6	29	35
C	5,839	28	536	15	29	44
D	5,839	28	536	13	41	54
E	6,187	29	570	7	29	36
F	7,178	34	667	7	29	36
G	6,187	29	570	23	29	52
H	6,187	29	570	15	41	56

Los costos de operación y mantenimiento anual se consideran como porcentaje de Ii para cada estrategia y se suman, obteniendo los correspondientes por alternativa. El ciclo de vida previsto para cada sistema es de 25 años, pues la vivienda ya tiene 30 años. El método VP es el más adecuado de las matemáticas financieras

para evaluar proyectos de este tipo, cuya mayor inversión inicial se compensa mediante el ahorro de energía convencional a lo largo de la vida útil del bien, el cual en este caso es la vivienda (Samuelson y Nordhaus 2004).

Este beneficio anual debe restarse en la ecuación de flujo de fondos de VP, en valor monetario, el cual se calcula multiplicándolo por el precio unitario de cada fluido energético, considerando incrementos de 200% para gas y de 100% para electricidad, aunque el Gobierno ha anunciado que decretará aumentos mucho mayores. Para la estimación del VAN se aplica una tasa baja de interés anual (2%), que salva parcialmente la gran diferencia de precios que existe entre los inherentes a la construcción y a la energía, siendo muchísimo más elevados los primeros.



**Fig. 11** Índices de rentabilidad microeconómica (VAN, TIR y TR) por alternativa

También se incluye en la ecuación el Valor Residual (VR) del bien al finalizar la vida útil, habiendo adoptado el 15% del precio de mercado actual de la vivienda, cotizada un 10% superior por tener incorporada alguna alternativa, lo cual representa € 81,582. En la Fig. 11 se exhiben los resultados obtenidos. La conveniencia de cada propuesta se determina cuando el VAN es positivo y la TIR supera la tasa de interés utilizada para el cálculo, siendo ambos mejores mientras mayor es el monto. A su vez, un menor TR hace más atractivo un proyecto. Las más cercanas a la inversión de mayor rentabilidad son aquellas que cumplen de mejor modo los requisitos para los tres índices. En la Tabla 5 se muestran las alternativas en orden de prelación según cada IR y considerando a todos juntos.

**Tabla 5** Orden de prelación de alternativas según los diferentes IR y en función de los tres

IR	1	2	3	4	5	6	7	8
TIR	A	G	D	F	B	H	C	E
TR	A	B	D	C	G	H	E	F
VAN	A	D	G	B	C	H	E	F
Todos	A	D	B	G	C	H	E	F

Según el interés de los inversores se puede ponderar la valoración en función de uno de ellos únicamente. Así es que para obtener el mayor ahorro energético durante la vida útil del inmueble conviene elegir la H que alcanza un 56% en vivienda orientada E-O u O-E, o la D que llega a 54% en el caso N-S o S-N, pues además permiten un buen rendimiento económico en función de los tres IR.

## 6 Conclusiones

En números globales, si en cada vivienda de Ar se hiciese una inversión promedio de €6,000, ésta se amortizaría en 11 años con una TIR del 3%, permitiendo un ahorro energético medio anual de 45%, durante 25 años y reportaría un beneficio neto de €3,000 al finalizar el período. Bajo las condiciones supuestas la suma total de la ganancia lograda con todas las 383 viviendas individuales del barrio Ar se elevaría entonces a millones €1,149, propiciando una disminución del orden de 34GWh en el consumo de energía y de la contaminación ambiental asociada, además de permitir mejoras en los niveles de confort higrotérmico y en la calidad de edificación. La evaluación realizada en el tema, tanto en el diagnóstico inicial como en las propuestas, y su proyección en escala, demuestra que se justifica ampliamente actuar con urgencia en el sector residencial sanjuanino mediante políticas fuertes que alienten la inversión en las mejoras tecnológicas, permitiendo a la vez una rehabilitación adecuada, antes que las viviendas cumplan una mayor antigüedad. Los criterios, procedimientos y herramientas desarrollados y aplicados en la presente investigación, son instrumentos prácticos para este fin, cuyos cálculos estacionarios poseen las limitaciones propias de la serie 11600 (1996-2012) de las Normas IRAM.

## 7 Referencias

- Blasco Lucas I (2011). Evaluación del comportamiento térmico-energético de alternativas bioclimáticas de mejoras en tipologías FONAVI. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERMA) 15, (05) 09-18.
- Blasco Lucas I, Rosés R, Facchini M, Hoesé L (2012) Procedimiento para estimar el consumo energético destinado a climatización de viviendas. Energías Renovables y Medio Ambiente (ERMA) 27, 1-10.
- Blasco Lucas I (2013) Arquitectura Sustentable en hábitat rural de zona árido-sísmica: Aportes teórico-metodológicos. Tesis Doctoral en Arquitectura. Universidad de Mendoza.
- Duffy J, Beckmann W (1993) Solar engineering of thermal processes. Wiley Interscience, NY.
- Evans J (2010) Sustentabilidad en Arquitectura. Professional Association of Architects Planners. Buenos Aires.
- Czajkowski J, Gomez A. (2011) Cuadernos de Arquitectura Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires.

Libro de Actas del 3<sup>er</sup> Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones  
Eco-Eficientes

- López Asiaín J (2002). Arquitectura, ciudad y medio ambiente. Editorial Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones.
- Mesa, A (2002) BNA: Método Bruce-Novell Ampliado. Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, Centro Científico y Tecnológico Mendoza.
- Pontoriero D, Hoesé L (2013) Banco de datos meteorológicos de la ciudad de San Juan. Instituto de Energía Eléctrica, Universidad Nacional de San Juan.
- USC (2006) ABC: Software Architectural Bioclimatic Classification 1.3. Universidad de San Carlos, Estado de San Pablo, Brasil.
- IRAM Serie de Normas 11.600 (1996-2012). Acondicionamiento térmico de edificios. Instituto Argentino de Normalización. Buenos Aires, Argentina.
- Samuelson P, Nordhaus W (2004) Microeconomía. McGraw-Hill Interamericana Ed. S.A. NY.
- Sapag Chain N, Sapag Chain R (2008) Preparación y evaluación de proyectos. McGraw-Hill.