

## **IMPACTO ECONÓMICO DE ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS UTILIZANDO PROGRAMA DE BALANCE TÉRMICO DE EDIFICIOS SUSTENTABLES (BTES)**

**A. Esteves<sup>1,2</sup>, A. Scalia, D. Gelardi<sup>1</sup>, D. Aceituno<sup>1</sup> y G. Cuitiño<sup>1,3</sup>**

1. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) – Universidad de Mendoza (UM), Argentina

2. INAHE – CCT CONICET Mendoza, 5500 Argentina

E-mail: aesteves@mendoza-conicet.gob.ar

*Recibido:06/08/2021; Aceptado: 16/08/2021; Publicado on line:1-11-21.*

**RESUMEN.-** La enseñanza de la arquitectura sustentable, requiere de métodos amigables para el proyectista, de modo de ser fácilmente aplicado en el anteproyecto, lo que permite realizar cambios y precisar más la tecnología. Todos los sistemas solares pasivos o estrategias de conservación se pueden ajustar en el anteproyecto, para otorgar al edificio un elevado grado de eficiencia térmica, aprovechando los recursos climáticos. Se presentan ejemplos de ajuste de anteproyectos de optimización de viviendas utilizando el programa Balance Térmico de Edificios Sustentables – BTES para avanzar hacia una mayor sustentabilidad energética, que permite optimizar el anteproyecto de viviendas nuevas o las viviendas existentes. Se presentan cuatro casos, dos de viviendas construidas de modo tradicional y dos viviendas bioclimáticas. Se calcula el período de amortización de las inversiones necesarias. El ahorro económico para las viviendas tradicionales fue del 64% y 66% y en el caso de las bioclimáticas, el ahorro adicional al que actualmente poseen, es entre el 33% y 49%. El período de amortización para lograr estas soluciones alcanza a 11 y 22 años para las viviendas tradicionales y 16 y 45 años para las bioclimáticas, influyendo en todos los casos la temperatura interior a la que los usuarios pretenden mantener sus viviendas.

**Palabras claves:** arquitectura bioclimática, eficiencia energética, período de amortización.

## **ECONOMIC IMPACT OF BIOCLIMATIC STRATEGIES USING THE THERMAL BALANCE PROGRAM FOR SUSTAINABLE BUILDINGS (BTES)**

**ABSTRACT.-** The teaching of sustainable architecture requires methods friendly to the designer, so as to be easily applied in the draft, which allows changes to be made and the technology more precise. Passive heating systems work through surfaces that gain solar heat by their proper orientation. All these surface elements can be adjusted in the draft, to give the building a high degree of thermal efficiency, taking advantage of climatic resources. Examples of adjustment of housing optimization projects using the Thermal Balance of Sustainable Buildings – BTES program are presented, two of houses have been built with a traditional technology and two are bioclimatic houses. The repayment period of the necessary investments is calculated. The economic savings for traditional homes is 64% and 66% and in the case of bioclimatics, the additional saving is 33% and 49%. The repayment period to achieve these solutions reaches 11 and 22 years for traditional homes and 16 and 45 years for bioclimatics ones, influencing in all cases the interior temperature at which users intend to maintain their homes.

**Keywords:** bioclimatic architecture, energy efficiency, repayment period.

### **1. INTRODUCCIÓN**

La enseñanza de la arquitectura sustentable, se requiere de métodos amigables y a la vez precisos para poder determinar el grado de conveniencia de un determinado sistema para ser aplicado en un edificio a través de su anteproyecto. El trabajar en el anteproyecto permite realizar cambios y precisar más la tecnología (Edwards, 2006; Delucchi, 2016). Por otro lado, los sistemas pasivos tienen para la arquitectura, superficies a

través de las cuales se genera el intercambio de energía (Esteves Miramont, 2017) ya sean sistemas solares pasivos (el área colectora de ganancia directa, muros acumuladores, invernaderos, etc.) o los sistemas de enfriamiento pasivo (el área de ventana para intercambio de aire en el sistema convectivo nocturno o de confort), etc.

El grado de ahorro obtenido en la inclusión de estrategias pasivas, resulta variable, dependiendo del clima, superficies

colectoras y sistemas utilizados. Kurban et al., (2016) reporta un ahorro del 84% en el consumo de energía eléctrica - EE, para invierno y 46% para verano y en el caso del gas natural-GN, el ahorro alcanzaría el 84% en un clima desértico del Oeste Argentino.

Ahora bien, se han desarrollado programas que permiten evaluar la inclusión de sistemas, tanto de conservación de energía como de sistemas pasivos de acondicionamiento ambiental para trabajar de manera amigable con el proyectista (Hernandez et al., 2002; Esteves y Gelardi, 2003). En este trabajo se presenta el uso del Programa de Balance Térmico de Edificios Sustentables – BTES (Inscripto como obra inédita N° 02809. Expte. 746850. 13/04/09) y descrito en Esteves et al., 2003. En Esteves Miramont, 2017 se agregan al mismo programa, más sistemas pasivos y en Esteves et al., 2018a, se ha evaluado su performance de invierno con una metodología muy interesante, registrando temperaturas interiores en diversos ambientes de la vivienda para determinar la temperatura media a la que los usuarios mantienen en sus viviendas y frente a ella, se han calculado los consumos de energía auxiliar con el programa BTES y se han comparado con los consumos reales en casos construidos de 4 viviendas parcialmente bioclimáticas ya construidas y 3 viviendas de construcción tradicional también construidas y todas en uso.

Entre los valores que arroja el programa se encuentra el consumo mensual y anual del edificio en cuanto a gastos de calefacción. El consumo lo indica en 4 energéticos: energía eléctrica, gas natural, gas envasado, Kerosene y biomasa (leña). Estos deberán coincidir con el rendimiento del equipo utilizado para calefaccionar.

El grado de ajuste anual se puede observar en la Fig. 1 (izq.) para el total de las 7 viviendas. Se observa que el índice de determinación es elevado  $R^2=0.9493$ . Se observa un grado de ajuste mayor en los casos que se tiene una mayor temperatura interior y un clima más frío que denota un mayor consumo de energía auxiliar.

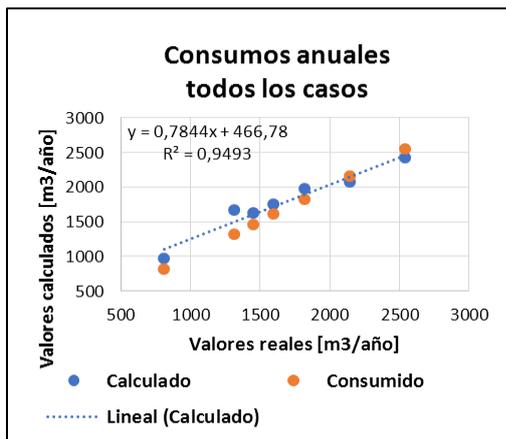


Fig. 1: consumos reales vs. Calculados con el programa. (Ref.: Esteves et al., 2018).

Ahora bien, tomando en cuenta esta herramienta, se determinará el impacto generado en el consumo energético en viviendas construidas al incorporar mayor nivel de conservación de energía y/u otro sistema pasivo adicional, buscando una solución más sustentable (Guzowski, 2010; The European Commission, 2010; Turégano Romero J.A.,

2009) calculando a la vez, la inversión necesaria para implementar la mejora y determinando el período de amortización de tal inversión enfrentada a los ahorros producidos. Esto finalmente nos da idea de cómo la necesidad ambiental no se condice con la necesidad económica al necesitar períodos de inversión que pueden ser muy elevados ante la situación actual. Sin embargo, estrategias llevadas a cabo por algunos municipios de Mendoza, permiten reducir esos períodos de amortización, incentivando el uso e implementación mediante el estudio de sustentabilidad (Ord. 7054/2020 G.Cruz, Mendoza).

## 2. METODOLOGÍA

Para este trabajo se han tomado viviendas ya construidas, 2 parcialmente bioclimáticas y 2 construidas de manera tradicional. Las parcialmente bioclimáticas se han construido (entre 1995 y 2010) y poseen estrategias de conservación de energía y algunos sistemas pasivos, pero se podrían mejorar aún más, adicionando mayor nivel de aislación térmica u otro sistema solar pasivo más eficiente. Las viviendas de construcción tradicional se considera su reciclaje energético y ambiental a través de inclusión de estrategias de conservación de energía y sistemas pasivos de calefacción.

La metodología implementada ha sido la siguiente:

1- Se toma en cuenta, una campaña de mediciones, que permite determinar la temperatura y humedad relativa interior media a la que se mantienen los edificios ( $T_i$ ). También se midió simultáneamente las condiciones atmosféricas locales: temperatura del aire ( $T_a$ ), humedad relativa del aire ( $H_a$ ), radiación solar ( $R_s$ ), velocidad de viento ( $v_a$ ) y dirección de viento.

2- Tomando en cuenta la temperatura interior y la temperatura exterior, se determinan los grados-día de calefacción, utilizando la expresión 1 que indica los grados-día para temperatura base de cualquier valor de acuerdo a un trabajo previo (Esteves y Gelardi, 2008):

$$GDC_m = -0,0274(T_b - T_a)^3 + 1,1447(T_b - T_a)^2 + 16,653(T_b - T_a) + 46,369 \quad (1)$$

Donde:

GDC<sub>m</sub> = Grados-día de calefacción mensual [°C.día/mes]

T<sub>b</sub> = Temperatura base ( $T_b = T_i$  media registrada) [°C]

T<sub>a</sub> = Temperatura media mensual del aire exterior [°C]

R<sup>2</sup> = índice de determinación

3- Se ajusta el programa BTES con la temperatura interior (para conocer la potencia del artefacto de calefacción necesario) y los GDC anuales, obtenido de la expresión 1 y 2.

$$GDC_a = \sum_{i=1}^{12} GDC_i \quad (2)$$

Donde:

GDC<sub>i</sub> = Grados-día de calefacción en el mes i [°C.día/mes]

GDC<sub>a</sub> = Grados-día de calefacción anual [°C.día/año]

3- Se identifican las estrategias necesarias, ya sea de conservación de energía y/o sistemas solares pasivos para mejorar la performance térmica y energética del edificio en sí.

4- se aplica el programa BTES para conocer los parámetros siguientes Coeficiente Neto de Pérdidas, Fracción de Ahorro Solar, Energía Auxiliar Anual y Potencia del artefacto de calefacción. Esto se aplica tanto para el edificio original como al edificio mejorado.

Se define el CNP – Coeficiente Neto de Pérdidas como las pérdidas de calor por la envolvente edilicia, sin tomar en cuenta las que corresponden al sistema solar pasivo. La Fracción de Ahorro Solar – FAS, es la cantidad de energía aportada por el sol (de base anual), a través de los sistemas pasivos. La energía auxiliar anual, será la necesaria para mantener la temperatura interior medida en el punto 1 en ese clima, restando el aporte solar. Y la potencia del artefacto de calefacción, es la potencia necesaria para mantener las condiciones interiores a esa temperatura medida, para las condiciones de temperatura de diseño de invierno de ese clima (Norma IRAM 11603).

5- Paralelamente se procesa la información de las facturas de gas natural, que pueden incluir consumos de calefacción, calentamiento de agua y cocción, separando el consumo en calefacción, teniendo en cuenta la metodología utilizada en un trabajo previo (Esteves et al., 2018).

6- Tomando en cuenta la reducción en consumos de energía entre el modelo original y el modelo mejorado y tomando en cuenta también el costo de las estrategias a implementar, se obtienen los plazos de amortización de la implementación de estas mejoras. Estos se calculan de acuerdo a la expresión 3, donde el período de amortización será el tiempo representado por Y años.

$$[I + [\sum_{k=1}^h \sum_{j=1}^Y (b^j P_k \Delta Q_k) + \sum_{k=1}^Y a^j (\Delta M_j + \Delta R_j)]] = 0 \quad (3)$$

I = inversión inicial, incluyendo diseño, compra, instalación y modificaciones edilicias.

Mj = costo de mantenimiento en el año j.

Rj = costo de reparación y reemplazo en el año j.

Pk = precio inicial de la energía auxiliar tipo k.

Qk = cantidad requerida de la energía auxiliar k (este valor debe tener en consideración la eficiencia).

$a^j = (1 + i)^{-j}$  fórmula del valor presente simple para conocer el valor presente de un gasto realizado en el año j cuando la tasa de descuento es i.

$b^j = \left[ \frac{1+e_k^j}{1+i} \right]$ ; fórmula para encontrar el valor presente de una cantidad gastada en el año j, escalada a la tasa de  $e_k$ , donde k denota el tipo de energía a la tasa de descuento i.

Con respecto a la expresión 3, se debe indicar que las tarifas son las vigentes al mes de junio de 2021. Los costos de mantenimiento y reparación se consideran igual a 0.

Por razones de simplicidad, se toma el valor de  $i=e_k$ , que en este caso se trata de gas natural, cuya tarifa vigente para Mendoza, se indica en la Tabla 1.

El calcular el período de amortización es interesante para decidir sobre la conveniencia de su implementación o no atendiendo a la situación de las tarifas de combustibles vigentes.

Tabla 1: rangos de consumos y tarifa (Ecogas, 2021)

Rangos de consumos residenciales Mendoza		Cuadro Tarifario	
CATEGORIA	CONSUMO ANUAL [m3] entre:	Fijo [\$]	Variable [\$/m <sup>3</sup> ]
R1	0 - 900	347,02	10.03
R2-1	901 - 1000	366,6	10.03
R2-2	1001 - 1200	419,0	10.43
R2-3	1201 - 1400	473,5	10.43
R3-1	1401 - 1600	616,16	10.78
R3-2	1601 - 1800	714,07	10.78
R3-3	1801 - 2200	955,96	11.04
R3-4	2201 en adelante	1543,42	11.04

### 3. DESCRIPCION DE CASOS

Se presentan 4 casos de vivienda. Dos de ellos son de construcción tradicional y el resto son dos viviendas bioclimáticas. Todas construidas en la Ciudad de Mendoza, Argentina. Las mismas son descriptas a continuación en sus características constructivas al momento actual respecto a su envolvente y sistemas de acondicionamiento pasivo de calefacción y la inclusión de masa térmica con fuerte beneficio estival (Grondzik and Kwok, 2020) pero presentando sólo la performance en los meses invernales.

3.1. *Caso 1- Vivienda Bioclimática en Guaymallén, Mendoza.*  
Localización geográfica: Guaymallén, Mendoza.  
Coordenadas: Latitud 32,92° S; Longitud 68,80° W; Altitud 767 msnm. Clima: semidesértico continental templado frío. Ti media medida: 18,5°C.

**Forma:** El FAEP-Factor de Area Envolvente/Piso (Esteves et al., 2018b), resulta muy elevado = 3,7 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. La figura 2 muestra la fachada N y la planta de la vivienda.



Fig. 2: caso 1, foto de la fachada N y planta.

**Muros:** de mampostería de ladrillón de 0,17 m de espesor, bolseado interiormente y por el exterior, aislamiento térmico de poliestireno expandido (PE) de 4,5 cm en muros y protección de malla Cima de 15x15x4,2 mm y revoque de concreto.

**Techos:** son en parte inclinados y en parte horizontales: a) inclinados: machimbre interior de 3/4” de espesor, barrera de

vapor de ruberoid (cartón embreado) al 200%, aislamiento térmico de 5 cm de lana de vidrio en techos y terminación con teja francesa; b) horizontales: de losa cerámica con pintura asfáltica como barrera de vapor, 5 cm de poliestireno expandido-PE, 10 cm de espesor medio de hormigón alivianado con perlas de poliestireno expandido para dar pendiente y membrana asfáltica con aluminio.

**Aberturas:** ventanas y puertas de madera, con simple contacto y burletes y todas tienen cortina de totora. Algunas ya poseen Doble Vidriado Hermético – DVH.

**Sistemas pasivos:** ganancia directa con vidrio simple y con aislamiento nocturno e invernadero adosado (coloreado de verde en la planta – Fig. 2) y masa térmica para acumulación de energía solar en invierno.

### 3.2. Caso 2- Vivienda Bioclimática en Luján de Cuyo, Mendoza.

Localización geográfica: Chacras de Coria, Luján de Cuyo. Coordenadas: Latitud 32,99° S; Longitud 68,89° W; Altitud 960 msnm. Clima: semidesértico continental templado frío. Ti media medida: 21,7°C.

**Forma:** el FAEP para la vivienda es de 1,99, por lo cual, resulta una forma energéticamente eficiente. La figura 3 muestra la fachada N, NE y NO y la planta de la vivienda.

**Muros:** ladrillón de 0,17 m de espesor, revocado interiormente y por el exterior, con aislamiento térmico de PE de 4,5 cm en muros y protección conformada de malla Cima 15x15x4,2 y revoque de concreto.



Fig. 3: caso 2, foto de la fachada N, NO y planta.

**Techos:** a) Inclinados: machimbre interior, barrera de vapor de membrana asfáltica con aluminio, aislamiento térmico de 1,5 cm de poliestireno expandido más 5 cm de lana de vidrio en techos y terminación de teja de cemento gris (Figura 3). b) Horizontales: losa alivianada pintura asfáltica como barrera de vapor, 5 cm de PE, 10 cm promedio de hormigón alivianado con PE para pendiente, carpeta alisada, pintura imprimante y membrana asfáltica con aluminio.

**Aberturas:** ventanas y puertas de madera de cedro simple contacto sin burletes. Presencia de vidrio fijo en frente NE. Las aberturas N, poseen postigos de madera cerrados (salvo ventana de cocina) utilizados para reducir las pérdidas térmicas nocturnas en invierno y en el día de verano (sombra temporal). Ver figura 4.

**Sistemas pasivos:** ganancia directa con vidriado simple, y aislamiento nocturno (conformado de postigones de madera de ¾” ciegos) y cortinas interiores.

### 3.3. Caso 3- Vivienda tradicional construida en ladrillo macizo en Las Heras, Mendoza

Localización geográfica: Barrio UJEMVI, departamento de Las Heras, Mendoza. Su ubicación geográfica es latitud 32,86°S; longitud 68,80°W; 715 msnm. Ti interior registrada: 21,3°C.

La figura 4 muestra la fachada S con el ingreso y la planta de la vivienda.



Fig. 4: caso 3, foto de fachada Sur y planta de PB.

**Forma:** la vivienda total tiene un FAEP de 2,04 (se encuentra parcialmente colindante a viviendas vecinas, esto disminuye el FAEP al valor indicado), por lo cual resulta energéticamente eficiente por este lado. Cuenta con una superficie cubierta total de 144,3 m<sup>2</sup>.

**Muros:** La mampostería es de ladrillo macizo con dos revocos en su envolvente vertical. El espesor final de los muros es de 20 cm y no cuentan con aislamiento térmico.

**Techos:** es de losa alivianada con 5cm de aislamiento térmico. En la PA se encuentra el estudio que funciona solamente durante las horas diurnas, por lo cual, no se tomará en cuenta para este estudio. Sólo se toma la parte de la vivienda que se encuentra en PB y cuya planta se indica en la Fig. 4.

**Ventanas:** de aluminio con doble contacto y burletes.

### 3.4. Caso 4- Vivienda de construcción tradicional de Luján de Cuyo.

Localización geográfica: en Chacras de Coria, Luján de Cuyo. Coordenadas: Latitud 32,99° S; Longitud 68,89° W; Altitud 956 msnm. Clima: semidesértico con clima templado frío. Ti media registrada: 16,0 °C.

**Forma:** el FAEP resulta levemente elevado = 2,5 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. La figura 5 muestra la fachada N, con la galería y la planta de PB de la vivienda.

**Muros:** de mampostería de ladrillón de 0,17 m de espesor, bolseado exterior y revocado interior.

**Techos:** son inclinados con cielorraso de machimbre de pino de 5/8" de espesor, barrera de vapor, aislamiento térmico de 5 cm de lana de vidrio y terminación con teja francesa.

**Aberturas:** Ventanas y puertas de carpintería standard de madera, simple contacto sin burletes con marco metálico y sin aislamiento nocturno, sólo cortinas livianas por el interior.

**Sistemas pasivos posibles:** la vivienda posee algunas ventanas orientadas hacia el Ecuador, lo cual las convierte en sistemas pasivos potenciales, aunque su rendimiento es muy bajo en las circunstancias actuales (muros y ventanas sin conservación de energía).

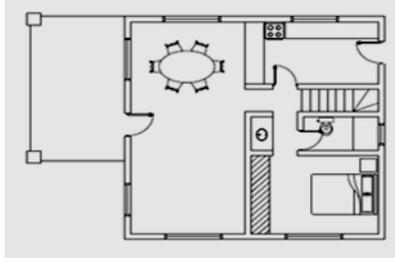


Fig. 5: caso 4, foto fachada y planta de PB.

#### 4. PROPUESTA DE MEJORAS EN LOS DISTINTOS CASOS

##### 4.1 Caso 1: vivienda bioclimática en Guaymallén.

Recordemos que se trata de una vivienda bioclimática, que posee conservación de energía en muros y techos, pero que permite plantear una mejora en techos y carpinterías. Posee sistemas pasivos de Ganancia Directa e Invernadero adosado construido posteriormente (ver figura 6).

Por lo tanto, las mejoras planteadas son:

**4.1.1. Opción 1:** Esta vivienda se construyó en el año 1989 y el aislamiento térmico del techo (5 cm) resulta limitado, aunque los materiales del mismo permanecen en perfecto estado, luego de 32 años. La opción es el agregado de aislamiento térmico por el interior, incorporando 5 cm de lana de vidrio, barrera de vapor y machimbre de pino de 5/8", clavado a las correas existentes.

**4.1.2. Opción 2:** Por otro lado, los sistemas de aberturas, que son de madera de cedro en perfecto estado de conservación, poseen 1 solo contacto, por lo tanto, se propone agregar otro

contacto con burlete, lo que implica, el cambio de bisagras (bisagras de doble contacto), colocación de un listón conformado para alojar el burlete.



Fig. 6: fotos del aislamiento térmico existente en muros, vistas de ganancia directa e invernadero

##### 4.1.3. Opción 3: incluye ambas propuestas indicadas en los puntos 3.1.1 y 3.1.2.

Tomando en cuenta estas opciones se presenta en la Tabla 2, los resultados. Se observa que al mejorar la conservación de energía, disminuyen las pérdidas (menor CNP), y aumenta la FAS más limitadamente dado el elevado FAEP que produce pérdidas adicionales. Los resultados indican que el consumo de energía (gas natural) disminuye al aplicar cada una de las opciones, transitando hacia una categoría menor que implica un ahorro de hasta el 33%. Pero además se ahorra en equipos de energía auxiliar dado que se requiere menor potencia. Finalmente si tomamos en cuenta los montos para realizar las mejoras y el ahorro producido consecuentemente, se obtiene una amortización de 18 años para la opción 2 y 71,8 años para amortizar la incorporación de una mejor aislamiento térmico en techos. En el caso de realizar ambas estrategias, el resultado es intermedio, alcanzando 45,5 años en amortizarlas.

##### 4.2. Caso 2: vivienda bioclimática en Luján de Cuyo.

La vivienda tiene una situación semejante a la vivienda 1, el aislamiento térmico en techos limitado (posee 5 cm de lana de vidrio y 1,5 cm de PE), dada la situación climática de frío riguroso y las tarifas de los combustibles.

Tabla 2: Resultados para el Caso 1.

RESULTADOS DEL BALANCE DE CALEFACCIÓN A LA VIVIENDA 1 FRENTE A DISTINTAS OPCIONES											
CASOS	CNP [W°C]	FAS	Potencia de Calefacción	Costo Equipos	Consumo Anual GN [m³]	COSTO DEL GAS NATURAL			AHORRO RESP. ORIGINAL	Costo Inversión menos ahorro en equipos	AMORTIZACION [años]
						Cat.	Cargo variable	Cargo fijo + variable			
Casa original	466	41,7%	10416 Kcal/hr	\$ 49.200	957,0	R2-1	\$ 9.598,71	\$ 11.798,31	-	-	-
Casa mejorada OPCION 1	430	48,9%	9752 Kcal/hr	\$ 49.200	774,0	R1	\$ 7.763,22	\$ 9.845,34	17%	\$ 140.148,00	71,8
Casa mejorada OPCION 2	395	46,4%	9126 Kcal/hr	\$ 49.200	747,0	R1	\$ 7.492,41	\$ 9.574,53	19%	\$ 40.896,50	18,4
Casa mejorada OPCION 3	360	53,9%	8470 Kcal/hr	\$ 43.900	583,7	R1	\$ 5.854,51	\$ 7.936,63	33%	\$ 175.744,50	45,5

Por lo tanto se estudia:

4.2.1. *Opción 1:* aumento del aislamiento térmico en los techos que muestra la figura 7. Se propone incorporar 5 cm de lana de vidrio, barrera de vapor y machimbre de 5/8”.

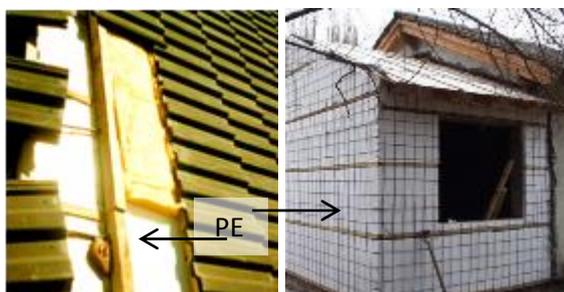


Fig. 7: fotos del aislamiento térmico existente en techos (lana de vidrio y PE) y muros.

4.2.2. *Opción 2:* Por otro lado, la carpintería realizada en roble claro, se encuentra en excelente estado, por lo cual, se propone adicionar un segundo contacto con burletes, lo que implica, el cambio de bisagras (bisagras de doble contacto), colocación de un listón conformado para alojar el burlete autoadhesivo y el burlete mismo.

4.2.3. *Opción 3:* incluye ambas propuestas de opción 1 y opción 2 de los puntos 3.2.1 y 3.2.2.

La Tabla 3 indica los resultados. Ante el aumento del aislamiento térmico del techo (opción 1), se obtiene un ahorro del 20,0% sobre lo que posee actualmente; mientras que el agregado del segundo contacto en aberturas (opción 2), es más representativo del ahorro (32,0%) y menos lapso de amortización (2,7 años) siendo la opción 3 la suma de la 1 y 2, dando como resultado 16,1 años de amortización y 49,0%

de ahorro sobre la situación actual. Se observa que los montos resultan menores a \$225000.- en todos los casos.

4.3. *Caso 3: vivienda tradicional en Las Heras.*

La vivienda fue construida en el año 1987, de construcción tradicional de mampostería de ladrillo macizo. Se desarrolla en dos plantas. No posee aislamiento térmico en muros y en techos posee aislamiento limitado. Tiene algunas ventanas orientadas hacia el Ecuador que se pueden aprovechar para transformarse en ganancia directa en los meses invernales. Las opciones se indican a continuación:

4.3.1 *Opción 1:* Se propone incorporar a los muros de mampostería de ladrillón ya existentes, aislación térmica de 5cm de espesor con PE y protección conformada de malla de acero electrosoldada cima de 15x15x4,2 mm de espesor y revoque de concreto.

4.3.2 *Opción 2:* Se propone incorporar DVH a las ventanas de P.B.

4.3.3 *Opción 3:* incluye ambas propuestas opción 1 y opción 2.

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos. Al realizar las mejoras indicadas en la opción 1, el ahorro reflejado es de 731,0 m<sup>3</sup> de gas por año, que respecto al consumo real original de la casa representa un 42% menos. Si la mejora consiste en la opción 2, el ahorro alcanza 451,0 m<sup>3</sup>, que respecto al consumo real original de la casa representa un 25% menos. Y si se realiza la opción 3, que es la suma de las dos anteriores, el ahorro en el consumo de GN es de 1154,40 m<sup>3</sup>, lo que implica un 62% menos. Se observa que todas las estrategias planteadas implican una inversión menor a \$ 176000.- y tendría una amortización menor a los 12 años.

Tabla 3: Resultados para el Caso 2

RESULTADOS DEL BALANCE DE CALEFACCIÓN APLICADO A VIVIENDA 2 PARA TODAS LAS OPCIONES											
CASOS	CNP [W/°C]	FAS	Potencia de Calefacción	Costo Equipos	Consumo Anual GN [m <sup>3</sup> ]	COSTO DEL GAS NATURAL			AHORRO RESP. ORIGINAL	Costo Inversión menos ahorro en equipos	AMORTIZACION [años]
						Cat.	Cargo variable	Costo fijo + variable			
Casa original	526,3	32,20%	12740 Kcal/hr	\$ 65.912	2067,3	R3-3	\$ 22.822,99	\$ 28.558,75	-	-	-
Casa mejorada OPCION 1	461,1	35,20%	11300 Kcal/hr	\$ 65.912	1731,0	R3-2	\$ 18.660,18	\$ 22.944,30	20%	\$ 205.576,80	36,6
Casa mejorada OPCION 2	408,4	38,10%	10150 Kcal/hr	\$ 49.200	1464,1	R3-1	\$ 15.783,00	\$ 19.479,96	32%	\$ 24.184,50	2,7
Casa mejorada OPCION 3	347,7	42,30%	8800 Kcal/hr	\$ 43.900	1163,9	R2-2	\$ 12.139,48	\$ 14.653,48	49%	\$ 224.461,30	16,1

Tabla 4: Resultados para el Caso 3

RESULTADO DEL BALANCE DE CALEFACCIÓN APLICADO A VIVIENDA 3 PARA TODAS LAS OPCIONES											
CASOS	CNP [W/°C]	FAS	Calefacción auxiliar		Consumo Anual Gas Natural	COSTO DEL GAS NATURAL			AHORRO RESP. ORIGINAL	Costo Inversión menos ahorro en equipos	AMORTIZACION [años]
			Potencia	Costo equipos		Cat.	Cargo variable	Cargo fijo + variable			
Casa original	451,1	28,7%	11304 Kcal/hr	\$ 65.900	1741,0 m <sup>3</sup>	R3-2	\$ 18.767,98	\$ 23.052,40	-	-	-
Casa mejorada OPCION 1	301,8	38,2%	8086 Kcal/hr	\$ 43.900	1010,10 m <sup>3</sup>	R2-2	\$ 10.535,34	\$ 12.019,04	48%	\$ 132.771,00	12,0
Casa mejorada OPCION 2	378,4	37,1%	9480 Kcal/hr	\$ 49.200	1290,0 m <sup>3</sup>	R2-3	\$ 14.396,53	\$ 15.846,19	31%	\$ 67.204,00	9,3
Casa mejorada OPCION 3	229,1	52,7%	6260 Kcal/hr	\$ 41.300	586,6 m <sup>3</sup>	R1	\$ 6.756,21	\$ 8.184,94	64%	\$ 175.375,00	11,8

4.4. *Caso 4: vivienda tradicional en Luján de Cuyo.*

La vivienda fue construida en el año 1987, de construcción tradicional de mampostería de ladrillo macizo. No posee aislamiento térmico en muros y en techos posee aislamiento limitado. Tiene ventanas orientadas hacia el Ecuador que se pueden aprovechar para transformarse en ganancia directa en los meses invernales. Las opciones se indican a continuación:

4.4.1. *Opción 1:* Aislamiento térmico en muros por el exterior, que consiste en, colocación de barrera de vapor de lámina de polietileno de 200 μ, aislación térmica de PE de 5 cm de espesor y revoque de hormigón con malla cima 15x15x4,2.

4.4.2. *Opción 2:* agregado de un segundo contacto a la carpintería existente en lugar de cambiar las ventanas y

colocación de burletes en ellas, para reducir los niveles de infiltración ocurridos en la vivienda.

4.4.3. *Opción 3*: es el resultado de unir la opción 1 con la opción 2.

4.4.4. *Opción 4*: consiste en transformar la galería abierta, para vidriarla y transformarla en un sistema solar pasivo de invernadero con muro macizo separador con el espacio a calefaccionar, incorporando un 25% de ventanas de abrir y el resto de vidrio fijo.

Tomando en cuenta estas opciones se presentan los resultados en la Tabla 5. Se observa que la casa original es muy poco eficiente. Al mejorar la conservación de energía, disminuyen las pérdidas (menor CNP), y la FAS no tiene un aumento significativo dado la poca superficie de sistemas pasivos al N por interposición de la galería abierta. Sin embargo, las dos estrategias de conservación de energía (opción 3), permite la

reducción del consumo de 1726 m<sup>3</sup> de GN a 824.5 m<sup>3</sup> de GN. Esta situación se mejora enormemente cuando esa galería se cierra formando un invernadero, permitiendo el ingreso de energía solar a la misma, cuyo calor se transfiere hacia los espacios de estar y comedor. Esto eleva la FAS de 3.6% a 32%, reduciendo los consumos de 824.5 m<sup>3</sup> de GN a 578 m<sup>3</sup> de GN. Los resultados indican que la opción 2 (colocación de segundo contacto en burletes) es la estrategia que menos período de amortización tiene y menos costo también. Es importante también lo que se ahorra en equipamiento de calefacción, dada la menor potencia requerida. Finalmente, los períodos de amortización resultan menores a 23 años, y tomando en cuenta la vida útil de los edificios que según Esteves y de Rosa, 1995 se podría fijar en 70-100 años, se observa la importante cantidad de años de ahorro (por encima del plazo de amortización) que se generarían a partir de las estrategias planteadas.

Tabla 5: Resultados para el Caso 4.

RESULTADOS DEL BALANCE DE CALEFACCIÓN APLICADO A VIVIENDA 4 PARA TODAS LAS OPCIONES											
CASOS	CNP [W/C]	FAS	Potencia de Calefacción	Costo Equipos	Consumo Anual GN [m <sup>3</sup> ]	COSTO DEL GAS NATURAL			AHORRO RESP. ORIGINAL	Costo Inversión menos ahorro en equipos	AMORTIZACION [años]
						Cat.	Cargo variable	Cargo Fijo + variable			
Casa original	526.9	1.6	9353 kcal/h	\$ 49 200	1726.0	R3-2	\$ 18 606.28	\$ 22 890.70	-	-	-
Casa mejorada OPCION 1	298.2	3	5640 kcal/h	\$ 24 600	962.2	R2-1	\$ 9 650.87	\$ 11 850.47	48%	\$ 201 470	18.2
Casa mejorada OPCION 2	485.7	1.7	8686 kcal/h	\$ 41 300	1588.0	R3-2	\$ 17 118.64	\$ 21 403.06	6%	\$ 15 140	10.2
Casa mejorada OPCION 3	256.9	3.6	4982 kcal/h	\$ 24 600	824.5	R1	\$ 8 269.74	\$ 10 351.86	55%	\$ 224 510	17.9
Casa mejorada OPCION 4	255.6	32	4961 kcal/h	\$ 24 600	578.2	R1	\$ 5 799.35	\$ 7 881.47	66%	\$ 336 910	22.4

## 5. CONCLUSIONES

Se presenta las ventajas de utilizar el programa BTES en el camino de la incorporación de estrategias de diseño bioclimático de edificios, en este caso, de conservación de energía en combinación o no con sistemas solares pasivos de calefacción.

Se observa que las pérdidas por infiltración son fundamentalmente las más convenientes observando los costos y su amortización, tomando en cuenta el ahorro en el gas natural consumido.

Los valores más convenientes de amortización se dan para las viviendas de construcción tradicional, donde la incorporación de las estrategias de acondicionamiento térmico como conservación de energía e incorporación de sistemas solares pasivos genera un impacto importante en la reducción de los consumos y por ende, en los plazos de amortización de las inversiones a realizar. En éstos casos los períodos de amortización se mantienen debajo de 22 años y generando ahorros del orden del 60% en el consumo de energía.

En el caso de las viviendas bioclimáticas que ya tienen incorporadas estrategias de conservación de energía y sistemas pasivos, aunque sea parcialmente a las soluciones óptimas, implementar mayores niveles de acondicionamiento térmico y ambiental supone mayores períodos de amortización.

Finalmente, también juega un rol importante la temperatura interior que se quiera mantener, dado que a mayores temperaturas interiores (caso 2 y caso 3), los ahorros de energía aparecen como más significativos que cuando se quieren mantener temperaturas interiores menores (caso 1 y

caso 4), arrojando en aquellos períodos de amortización menores.

La incorporación de sistemas solares pasivos le siguen en el orden de conveniencia. Es interesante notar que si bien, los períodos de amortización aparecen en algunos casos como extensos, estos costos son muy poco representativos en todos los casos menores al 10%, cuando los comparamos con los costos de construcción de la vivienda, por lo tanto, resulta muy conveniente utilizar estas tecnologías, tanto en etapas de anteproyecto para viviendas nuevas, como en reciclaje energético de viviendas existentes.

Finalmente, acciones políticas como incentivar el incorporar conservación de energía, sistemas pasivos, aprovechamiento de iluminación natural, masa térmica, etc. que se propicia a través de la ordenanza 7054/2020 en la Municipalidad de Godoy Cruz en Mendoza son muy apropiadas. En efecto, la mencionada ordenanza reduce los aforos de construcción (construcción nueva) y las tasas a pagar durante 10 años, lo que significa una reducción en los períodos de amortización de las inversiones necesarias para incorporar esas estrategias. Cabe destacar que otras Municipalidades del Gran Mendoza, también han promulgado ordenanzas similares. Todo tendiente hacia la incorporación de energías renovables y conservación de energía en los edificios tendiendo hacia un medioambiente más sustentable.

## REFERENCIAS

- Delucchi A. (2016). *Arquitectura y Sustentabilidad: como atraviesa la crisis ambiental la problemática del proyecto*. 1ª Ed. UFLO-CABA.

- ECOGAS (2021). Ecogas. Información Tarifaria, Mendoza. Recuperado de: <https://www.ecogas.com.ar/> consulta: 06/2021.
- Edwards B. (2006). Guía Básica de la Sostenibilidad. Ed. G.Gili. Barcelona.
- Esteves Miramont A. (2017). Arquitectura Bioclimática y Sustentable. Ed-Autor A. Esteves. Mendoza.
- Esteves A., Gelardi D. (2003). Docencia en Arquitectura Sustentable: Programa de optimización de proyectos de arquitectura basado en el Balance Térmico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **7**, 2, 31-34.
- Esteves A., Gelardi D. (2008). Método para el Cálculo de Grados-día de cualquier temperatura base y cualquier localidad. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **12**, 05-153, 05-158.
- Esteves A., Scalia A., Gelardi D. (2018a). Arquitectura Sustentable. Ajuste del Programa de Balance Térmico en el Cálculo de Energía Auxiliar de Calefacción. *Acta de la XLI Reunión de Trabajo de ASADES*, **6**, 02.135-02.146.
- Esteves A., Esteves M.J., Mercado M.V., Barea G., Gelardi D. (2018b). Buildings shape that promotes sustainable architecture. Evaluation of the indicative factors and its relation with the construction costs. *Architectural Research*, **8**(4): 111-122. DOI: 105923/J.ARCH20180804.01.
- Grondzik W.T., Kwok A.G. (2020). Mechanical and Electrical Equipment for Building. 13° Ed. Wiley. New Jersey.
- Guzowski M. (2010). Arquitectura contemporánea. Energía Cero. Ed. Blume. Barcelona.
- Hernández A. (2002). PREDISE – Un novedoso y práctico programa de evaluación térmica de edificios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **6**, 2, 08.61 – 08.66.
- IRAM 11603 (2011). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina. Instituto Argentino de Normalización y Certificación.
- Kurban A., Cúnsulo M., Alvarez A., Montilla E., Ortega A. (2016). Arquitectura bioclimática y ahorro energético del parque habitacional urbano en ambientes áridos. *Energías renovables y Medio Ambiente*, **37**, 23-33.
- The European Commission. (2010). Un Vitruvio Ecológico: principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible. 1° Ed. 3ª Tirada. Gustavo Gili. Barcelona.
- Turégano Romero J.A., Velasco Callau M.C., Amaya Martínez G. (2009). Arquitectura Bioclimática y Urbanismo Sostenible, Tomo I y II. Ed. Prensa Universitaria de Zaragoza.