

EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y ECONÓMICA PROTOTIPO DE VIVIENDA SOCIAL BIOCLIMÁTICA EN ZONA ÁRIDA URBANA

A. Kurbán¹, M. Cúnsulo², M. Matar³, V. Ripoll⁴, A. Ortega⁵.

INEAA (Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental)

Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño – Universidad Nacional de San Juan

Santa Fe 198 (Oeste) 1° Piso, C.P. 5400. San Juan.

Tel. 0264-4202664 e-mail: akurban@unsj.edu.ar

Recibido 26/07/17, aceptado 25/09/17

RESUMEN: Se realiza la evaluación energética y económica de un prototipo de vivienda social bioclimática evolutiva, diseñado en la Unidad Ejecutora para zonas áridas urbanas, calculando sus respectivos sobrecostos. El rendimiento de los sistemas pasivos se realiza con el Programa Optimix, a partir del Método Relación Carga Colector. Las alternativas de inversión se adoptan a partir del cálculo del Valor Actual Neto y Marginal. Los resultados cuantifican el aprovechamiento de sistemas solares pasivos para eficientizar los beneficios térmicos y económicos de los prototipos ejecutados. La carga térmica de invierno a la que están sometidas las viviendas, se reduce en un 64,1%, con las medidas de conservación de la energía y los sistemas solares y variantes de mejora aplicados. El ahorro energético resulta del 20% y 22% y la amortización de 2,4 años y 2,3 años, según sea la orientación de la vivienda (azimut 0°N y ±15°N respectivamente).

Palabras clave: arquitectura bioclimática – ahorro energético – evaluación económica – vivienda social - clima árido urbano

INTRODUCCION

La energía fósil o generada constituye uno de los pilares básicos en los que se sustenta el modelo socioeconómico actual, tanto de los países centrales como los emergentes. No obstante, son estos procedimientos extractivos y productivos los principales responsables de la destrucción del ambiente físico. Efectivamente, la generación de electricidad térmica conlleva la emisión a la atmósfera de gases responsables del efecto invernadero y la lluvia ácida, tanto como la generación de residuos radiactivos, en el caso de generación nuclear. Por su parte la minería a cielo abierto para la obtención de carbón produce la completa degradación de amplias extensiones del territorio.

Todas estas prácticas generan sin duda altas condiciones de insustentabilidad que comprometen el necesario equilibrio ecosistémico del planeta, incidiendo en primer lugar en las ciudades, por su demanda energética permanente para atender sus crecientes necesidades. Al respecto, en la década 1997/2007 (OLADE, 2012), las emisiones totales en Argentina de CO₂ se incrementaron en un 57%. El consumo energético produce en nuestro país emisiones de CO₂ por habitante de 3,89Gg/10, valor superior a la media latinoamericana de 3,01. De esta contaminación, el sector residencial constituye el 23% (Secretaría de Energía, 2006).

¹ Profesor Titular UNSJ – Profesional Principal CONICET

² Profesor Adjunto UNSJ – Profesional Principal CONICET

³ Adscripto Egresado UNSJ

⁴ Profesor JTP UNSJ

⁵ Profesor JTP UNSJ

El uso eficiente de la energía a través del diseño bioclimático, es a su vez una fuente de energía y por ello el ahorro en un sector, significará mayores posibilidades de uso particularmente en el sector productivo, en los que no pueda ser sustituida por otros recursos alternativos de flujo.

El concepto de eficiencia energética se asocia al ahorro de energía, sin ser necesariamente equivalentes. Estimaciones a nivel mundial de la International Energy Agency (2007), indican que optimizando los edificios en relación a sus requerimientos de refrigeración, calentamiento, ventilación, iluminación y calentamiento de agua, el ahorro energético anual representaría 500MTEP (mil millones de toneladas equivalentes de petróleo), para el año 2030. La experiencia internacional reconoce al uso eficiente de la energía como la medida más efectiva, a corto y mediano plazo, para lograr una significativa reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y de otros gases de efecto invernadero.

El interés original en la eficiencia energética fue salvaguardar la seguridad del suministro de energía pero ahora se hace un fuerte hincapié en la necesidad de proteger el ambiente. Más recientemente, esto ha sido confirmado nuevamente a través de la integración de la dimensión ambiental en la política energética de la Unión Europea que hace hincapié en la importancia de la eficiencia energética y de las energías renovables en el desarrollo sostenible. El debate sobre el cambio climático ha subrayado además el papel del uso racional de energía, que es considerado uno de los principales medios de alcanzar los compromisos de reducción de CO₂ bajo el protocolo de Kyoto, en particular en la construcción, electrodomésticos, iluminación, en los sectores transporte e industria.

En nuestro país aproximadamente un tercio de la energía producida, es consumida en y para el funcionamiento de los edificios. De esta cantidad, casi la mitad se utiliza para satisfacer la demanda de calefacción y de refrigeración (INTI, 2005).

Por su parte, de la demanda total de energía, el gas representa un altísimo porcentaje, 73,93%, discriminado en gas natural: 59,75% y gas licuado de petróleo: 14,18%. Dentro de Latinoamérica, nuestro país incrementó el consumo final de energía por habitante en la década 1997/2006 un 11,5%; valor muy superior a la media latinoamericana de 8,5%. Dentro de este total y para el mismo período, el consumo residencial se incrementó en un 23%, habiendo decrecido la media latinoamericana el - 2%. (OLADE 2006).

En Argentina, el Decreto 140/2007 (GN, 2007) declara de interés y prioridad nacional el Uso Racional y Eficiente de la Energía, estableciendo a la Eficiencia Energética (EE) como una actividad de carácter permanente de mediano a largo plazo. Asimismo, define a la EE como un componente imprescindible de la política energética y de la preservación del medio ambiente. Busca propender a un uso eficiente de la energía, teniendo en cuenta que en su mayoría, la misma proviene de recursos naturales no renovables.

Es por demás contradictorio que ante la escasez energética y los adversos resultados de las modelizaciones a futuro de la relación Reserva/Producción, la estructura del consumo en nuestro país privilegia su uso en acondicionamiento térmico edilicio en lugar de destinarlo a la producción de bienes y servicios. Por tanto, deberá necesariamente haber un cambio de paradigmas basado en el uso de fuentes alternativas de energía, con esfuerzos destinados a reemplazar los recursos de stock como son el petróleo y el gas, por los de flujo, entre los cuales se encuentra el clima. Al respecto es sabido que el Diseño Bioclimático constituye uno de los manejos de la energía más accesibles y menos complejos de aplicar y puede utilizarse tanto a escala urbana como arquitectónica. A lo anterior hay que adicionarle que lograr el confort de la población haciendo un uso sustentable de los recursos, tiene además del impacto económico asociado al ahorro energético, un importante aporte a la salubridad, al mejorar la calidad de vida de la población más carenciada.

Un estudio del consumo energético para acondicionamiento térmico de viviendas en el Área Metropolitana de San Juan (Kurbán *et al.*, 2016) indica que se destina a ese uso durante el invierno, aproximadamente la mitad de la energía eléctrica y gas (natural/licuado) distribuida por los respectivos entes de servicios. Durante el verano, ese porcentaje asciende al 60% del consumo total de energía

eléctrica. Si las viviendas hubieran sido diseñadas utilizando estrategias bioclimáticas mediante el uso de energías no renovables, esto significaría un ahorro en energía eléctrica del orden del 43% en invierno y 46% en verano. En el caso del gas natural/licuado, el ahorro alcanzaría el 81%.

Considerando que el AMSJ representa el 0,14% del territorio provincial (127Km² de 89.651Km²) y reúne el 67% de la población (458.230 habitantes de 681.055 habitantes) el aporte al ahorro energético que proveería el uso de arquitectura bioclimática en el parque habitacional de la provincia, sería altamente significativo.

Si se extrapolan dichos ahorros energéticos, a provincias con similares condiciones climáticas y urbanísticas a las de San Juan, entre ellas Mendoza, La Rioja y Catamarca, el aporte que realizaría el uso de herramientas de arquitectura bioclimática al autoabastecimiento energético, sería sustancial.

Debe adicionarse además el aporte de la arquitectura bioclimática a la disminución de la huella de carbono. En ese sentido, el uso de equipos de acondicionamiento ambiental para refrigeración y calentamiento, que utilizan combustibles fósiles, constituye otro de los efectos negativos de la urbanización sobre la salud humana, ya que el CO₂ emitido, por su efecto invernadero, contribuye a la contaminación atmosférica.

En Kurbán *et al.* (2015a) se evalúa la emisión de CO₂ comparando una vivienda convencional de la ciudad de San Juan, con otra diseñada utilizando energías naturales. Se concluye que en el segundo caso existiría una disminución del 74% de las emisiones de CO₂. Si dicha reducción fuera por ahorro de energía eléctrica, la disminución sería del 84% y si se produjera por ahorros en gas natural/licuado, del 56%. Cuantificando todo el parque habitacional de la ciudad y en función de la energía que sirve a cada zona urbana, la disminución de la huella total de carbono si se utilizaran estrategias de diseño bioclimático, sería del 72%.

La aplicación de políticas de eficiencia energética en un marco de exigencias ambientales, protección de los recursos naturales y compromisos para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero responsables del proceso de cambio climático global, sin duda contribuirá al establecimiento de condiciones que favorezcan el desarrollo sostenible de la nación, el crecimiento del empleo y el aumento de la productividad.

En ese contexto el presente artículo evalúa energética y económicamente un prototipo de vivienda social bioclimática evolutiva diseñado en la Unidad Ejecutora (Kurbán *et al.*, 2015b) para aportar a los organismos de gestión habitacional información cuantitativa que contribuya con la adopción de medidas de uso sustentable de los recursos energéticos, particularmente destinadas a la población más vulnerable.

PROTOTIPO DE VIVIENDA SOCIAL BIOCLIMÁTICA EVOLUTIVA

En la Figura 1 (centro y derecha) se presentan dos ubicaciones del prototipo bioclimático de vivienda social evolutiva de dos dormitorios (con ampliación a tres dormitorios) diseñados por la Unidad Ejecutora (Kurbán *et al.*, 2015b) según sea la orientación de los terrenos: N-S y E-O. En el primer caso el eje mayor de las viviendas está orientado con azimut 90° norte (con el acceso desde el sur o desde el norte); en el segundo caso la orientación de dicho eje es de ± 105° norte, con accesos desde el oeste-noroeste y este-sureste.

BASE DE DATOS CLIMÁTICOS DEL CLIMA URBANO DEL ÁREA METROPOLITANA DE SAN JUAN

Los registros meteorológicos que se incorporan como datos al Programa OPTIMIX, están constituidos por la Estadística Climática del Área Metropolitana de San Juan, del periodo 1995-2015, con los datos registrados en el marco del PROPAC (Programa Permanente de Actualización Climático-Urbanística) desde el año 1999 en adelante (Papparelli, et al., 1999 – 2013; Kurbán, et al., 2014 – 2016) y datos estadísticos del período 1995 a 1998.

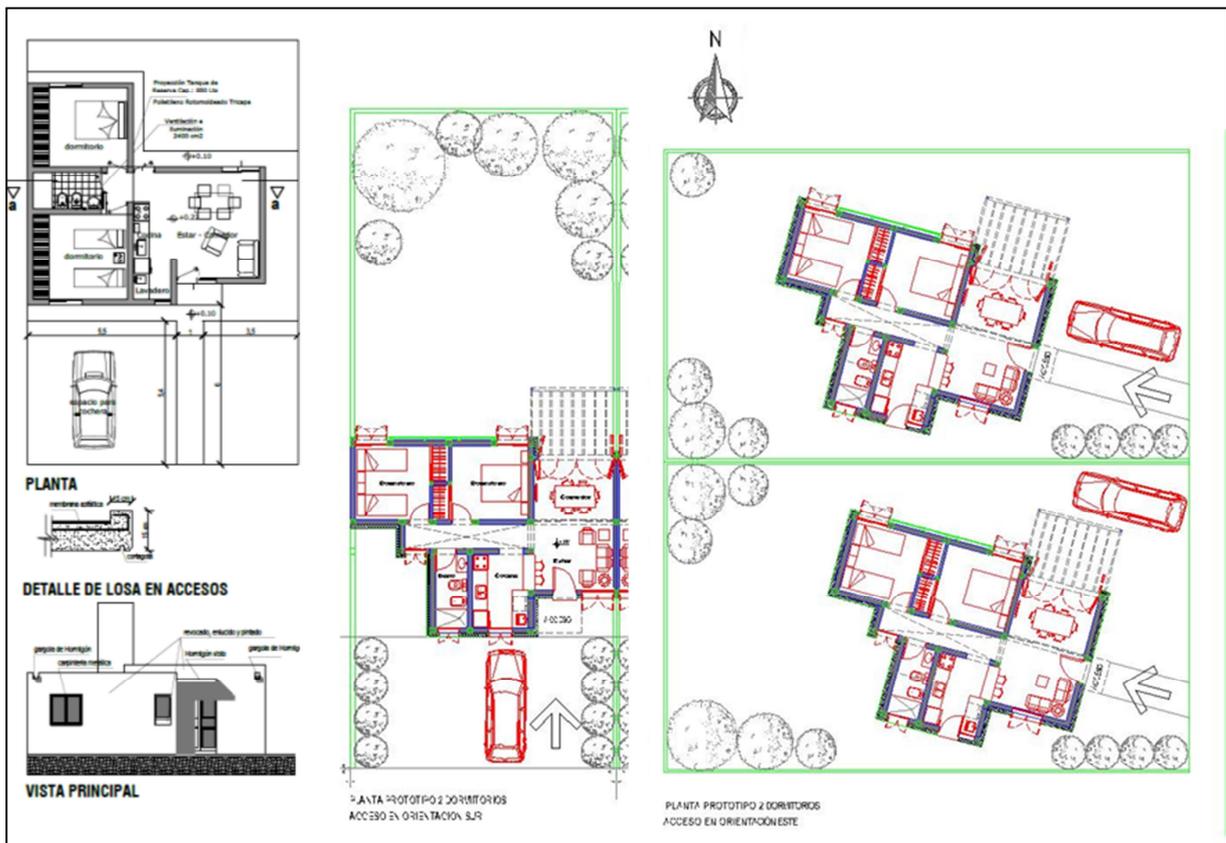


Figura 1: Izquierda, prototipo IPV 2 dormitorios con ampliación a tres dormitorios. Centro y derecha, prototipo bioclimático INEAA dos dormitorios con ampliación a tres dormitorios, con ubicaciones según orientación de terrenos.

Los registros fueron obtenidos en dos Estaciones Meteorológicas, ubicadas en la Banda Eminentemente Urbana de la ciudad, en la esquina de las calles Santa Fe y Sarmiento a una distancia de aproximadamente 300m del centro urbano principal, Plaza 25 de Mayo.

Ambas estaciones meteorológicas son marca Davis. Están conectadas a PC mediante el software Weatherlink con interfase Weather Monitor II y poseen sensores de temperatura de bulbo seco, humedad relativa, vientos (dirección y velocidad), presión atmosférica, precipitación y radiación difusa. Se encuentran localizadas a una altura de 12,00m sobre el nivel del terreno natural, sin obstrucción edilicia, lo cual garantiza una buena exposición y captación de las condiciones atmosféricas del área urbana.

EVALUACIÓN ECONÓMICA PROTOTIPOS BIOCLIMÁTICOS INEAA

A los fines de realizar un análisis comparativo de costos de los prototipos bioclimáticos de vivienda diseñados en el INEAA en relación con los del IPV y atendiendo a que ese organismo proyecta y ejecuta mayoritariamente viviendas de 2 dormitorios que en algunos casos prevén su ampliación a 3 dormitorios, se contrastan los precios del prototipo solar pasivo INEAA de 2 dormitorios con una vivienda tipo IPV también de 2 dormitorios:

- a) La Vivienda Tipo diseñada y construida por el Instituto Provincial de la Vivienda de San Juan (2016), consta de 2 dormitorios y tiene una superficie total de 55,87m² (Figura 1, izquierda). La construcción es tradicional, con estructura de hormigón armado y mampostería de ladrillón macizo de 18cm de espesor, revocado en ambas caras. El costo total por vivienda es de \$342.168,02 a precios del mes de septiembre de 2016.

- b) El Prototipo solar pasivo diseñado por el INEEA, consta también de dos dormitorios y tiene una superficie total de 60,45m², lo cual representa un 8% más que la vivienda IPV. El sobre costo final de la Vivienda Solar Pasiva INEEA es del 17%. Esto resulta de su costo a precios del mes de septiembre de 2016, de \$426.454,18, el cual en valores absolutos es un 25% mayor respecto de la vivienda básica IPV.

EVALUACIÓN RENDIMIENTO DE LOS SISTEMAS SOLARES APLICADOS PARA LA CALEFACCIÓN. SOFTWARE OPTIMIX Versión 3.1

El programa Optimix, en su versión 3.1 (Yarke y Castillo, 2006) constituye una herramienta de cálculo que utiliza para su evaluación económica, el Método del Cociente Carga Colector (CCC) - según sus siglas en inglés Solar Load Ratio (SLR) desarrollado por Douglas J. Balcomb *et al.* (1982) de quien también toma el método de guías para las Recomendaciones Previas al diseño (Balcomb, 1980 y 1986). OPTIMIX se aplica al Prototipo Bioclimático de dos dormitorios, el cual fue evaluado económicamente contrastándolo con la vivienda Tipo IPV. Se desarrolla a continuación el cálculo de los coeficientes netos de pérdida (CNP), la fracción de ahorro solar (FAS) y el valor actual neto (VAN) y el VAN marginal.

a) Salida de datos para Viviendas ubicadas en terrenos orientadas Norte-Sur: Azimut 0°Norte.

El Programa OPTIMIX calcula la mejor solución utilizando el Método de la Factibilidad Económica y muestra todas las combinaciones de soluciones cuyos sobre costos porcentuales en relación con el Costo Total del edificio, están por debajo de los límites máximos pre-establecidos. En la Tabla 1 de resultados para la Factibilidad Económica se muestra en la parte superior la situación inicial y en la parte inferior, la mejor combinación de entre todas las mejoras presentadas. Esta pantalla de resultados muestra también la identificación de la combinación de Variantes analizadas y para cada una de ellas, cuál es el BLC (Building Load Coefficient), CCC (Coeficiente Carga Colector), FAS (Fracción de Ahorro Solar) anual, Costo en Conservación, Costo Total de las Mejoras, y Tiempo de Amortización en años de las inversiones a realizar. De esta manera identifica la mejor combinación en cuanto a rendimiento económico de las hasta 512 combinaciones de variantes que el Programa permite analizar.

Planilla de Resultados Factibilidad Económica							
Sobrecosto Sistema Solar		22500,8		valores totales en \$			
Variantes	BLC (w°C)	CCC (w/m ² °C)	FAS %	Sobrecostos (\$)		Factibil. Económ.	Tiempo Amortiz.
				Conservac.	Totales		
Valores Iniciales del Proyecto con Sist.Solar y sin Mejoras en Conservación							
1 1 1 1 1	1500	153	8	00,00	22500,80	0,34	17,0
1 1 1 1 1	1500	153,00	8,00	00,00	22500,80	0,34	17,0
1 1 1 1 2	1480	151,00	8,00	00,00	22500,80	0,30	14,8
1 1 1 1 3	1461	149,00	8,00	26,00	22526,80	0,27	13,3
1 1 1 2 3	1454	148,00	8,00	26,00	22526,80	0,26	12,8
1 1 2 1 1	993	101,00	12,00	522,60	23023,40	0,07	03,7
1 1 2 1 2	973	99,00	12,00	522,60	23023,40	0,07	03,6
1 1 2 1 3	954	97,00	12,00	548,60	23049,40	0,07	03,5
1 1 2 2 3	947	97,00	12,00	548,60	23049,40	0,07	03,5
2 1 2 1 1	583	59,00	20,00	3114,60	25615,40	0,05	02,5
2 1 2 1 2	564	58,00	21,00	3114,60	25615,40	0,05	02,5
2 1 2 1 3	544	56,00	21,00	3140,60	25641,40	0,05	02,4
2 1 2 2 3	538	55,00	22,00	3140,60	25641,40	0,05	02,4
Mejor Combinación de entre las Variantes Analizadas							
2 1 2 2 3	538	55,00	22,00	3140,60	25641,40	0,05	02,4

Tabla 1: Resultados Factibilidad Económica Vivienda Solar Pasiva INEEA, 0° N. Software OPTIMIX

b) Salida de datos para Viviendas ubicadas en terrenos orientadas E-O: Azimut ±15°Norte.

En el caso de localizaciones del Prototipo de vivienda en terrenos orientados E-O con accesos por el Este o el Oeste, la inclinación de la vivienda es de ±15° N. En ese caso la Tabla 2 muestra los Resultados de la Factibilidad Económica resultante.

Planilla de Resultados Factibilidad Económica							
Sobrecosto Sistema Solar				20664,00	valores totales en U\$		
Variantes	BLC (w/C)	CCC (w/m ² C)	FAS %	Sobrecostos (U\$)		Factibil. Económ.	Tiempo Amortiz.
				Conservac.	Totales		
Valores Iniciales del Proyecto con Sist.Solar y sin Mejoras en Conservación							
1 1 1 1 1	1500	167	7	00,00	20664,00	0,34	17,0
1 1 1 1 1	1500	167,00	7,00	00,00	20664,00	0,34	17,0
1 1 1 1 2	1480	164,00	7,00	00,00	20664,00	0,29	14,7
1 1 1 1 3	1461	162,00	7,00	26,00	20690,00	0,26	13,0
1 1 1 2 3	1454	162,00	7,00	26,00	20690,00	0,25	12,5
1 1 2 1 1	993	110,00	11,00	522,60	21186,60	0,07	03,5
1 1 2 1 2	973	108,00	11,00	522,60	21186,60	0,07	03,4
1 1 2 1 3	954	106,00	11,00	548,60	21212,60	0,07	03,3
1 1 2 2 3	947	105,00	12,00	548,60	21212,60	0,07	03,3
2 1 2 1 1	583	65,00	18,00	3114,60	23778,60	0,05	02,4
2 1 2 1 2	564	63,00	19,00	3114,60	23778,60	0,05	02,3
2 1 2 1 3	544	60,00	20,00	3140,60	23804,60	0,05	02,3
2 1 2 2 3	538	60,00	20,00	3140,60	23804,60	0,05	02,3
Mejor Combinación de entre las Variantes Analizadas							
2 1 2 2 3	538	60,00	20,00	3140,60	23804,60	0,05	02,3

Tabla 2: Factibilidad Económica Vivienda Solar Pasiva INEAA azimut $\pm 15^\circ$ N. Software OPTIMIX

c) Resultados Software OPTIMIX respecto al BLC

El nivel efectivo de conservación de la energía y sistemas solares incorporados representados por el coeficiente BLC (Building Load Coefficient) que según Tablas 1 y 2, es de 538, lo cual indica la reducción de la carga térmica a la que está sometida la vivienda con mejoras en su envolvente (mampostería y aislaciones). Este coeficiente representa el 35,9% de la carga original sin mejoras (igual a 1.500 según dichas Tablas). Por tanto, diseñar bioclimáticamente una vivienda tal cual ha sido concebida en la documentación precedente, reduce tres veces la carga térmica a la cual está sometida la misma.

d) Resultados ahorro energético para viviendas localizadas en terrenos orientados N-S Azimut 0°N. Software OPTIMIX

d.1) Fracción de Ahorro Solar vivienda solar pasiva INEAA

Utilizando el software OPTIMIX se calculó para la Vivienda Solar Pasiva INEAA el porcentaje de ahorro energético generado por la utilización de sistemas pasivos de calefacción. El mismo, para terrenos orientados N-S, arrojó un 22% de fracción de ahorro solar. Dicha fracción constituye la cantidad de energía obtenida a través de la tecnología solar utilizada, dividida por el total de la energía requerida. Una fracción del 22% indica el porcentaje de ahorro que la vivienda brinda, a través de su diseño con sistemas solares (Tabla 1).

Por lo tanto, las familias que habitarán la Vivienda Solar Pasiva INEAA, abonarán en concepto de climatización edilicia, el 78% de lo que abonarían habitando una Vivienda Tipo IPV.

A lo anterior, hay que sumarle que por su situación socioeconómica, en la mayoría de los casos una familia no puede abonar toda la energía que necesita para su acondicionamiento climático, y dicha carencia la paga con discomfort. Por ello, habitar la Vivienda Solar Pasiva INEAA, trae aparejado no solo ventajas económicas en el aspecto energético, sino mejores condiciones de confort higrotérmico. A este ahorro, generado solo por la utilización de sistemas solares pasivos, deben agregarse los producidos por: uso de agua caliente generada por calefón solar y uso de energía eléctrica generada por paneles fotovoltaicos.

d.2) Amortización energética del sobrecosto vivienda solar pasiva INEAA

Con el software OPTIMIX se calculó el tiempo de amortización del sobrecosto de la Vivienda Solar Pasiva INEAA, resultando que **la amortización se realiza en un lapso de 2,4 años** (Tabla 1).

Esto indica, que la inversión se recupera antes de los tres años, pero durante los mismos y hasta la vida útil de la vivienda, la familia ahorrará como mínimo 22% de energía destinada a acondicionamiento térmico, sin considerar el ahorro obtenido en el calentamiento de agua y en la energía eléctrica utilizada para iluminación y electrodomésticos.

e) **Resultados ahorro energético para viviendas localizadas en terrenos orientados E-O: Azimut $\pm 15^\circ$ Norte. Software OPTIMIX**

e.1) Fracción de Ahorro Solar vivienda solar pasiva INEAA

La fracción de ahorro solar arrojó un 20% de. Dicha fracción constituye la cantidad de energía obtenida a través de la tecnología solar utilizada, dividida por el total de la energía requerida. Una fracción del 20% indica el porcentaje de ahorro que la vivienda brinda, a través de su diseño con sistemas solares. A lo anterior, hay que sumarle que por su situación socioeconómica, en la mayoría de los casos una familia no puede abonar toda la energía que necesita para su acondicionamiento climático, y dicha carencia la paga con discomfort. Por ello, habitar la Vivienda Solar Pasiva INEAA, trae aparejado no solo ventajas económicas en el aspecto energético, sino mejores condiciones de confort higrotérmico. A este ahorro, generado solo por la utilización de sistemas solares pasivos, deben agregarse los producidos por: uso de agua caliente generada por calefón solar y uso de energía eléctrica generada por paneles fotovoltaicos.

e.2) Amortización energética del sobre costo vivienda solar pasiva INEAA

Con el software OPTIMIX se calculó el tiempo de amortización del sobre costo de la Vivienda Solar Pasiva INEAA, resultando que **la amortización se realiza en un lapso de 2,3 años** (Tabla 2).

Esto indica, que la inversión se recupera antes de los tres años, pero durante los mismos y hasta la vida útil de la vivienda, la familia ahorrará como mínimo 20% de energía destinada a acondicionamiento térmico, sin considerar el ahorro obtenido en el calentamiento de agua y en la energía eléctrica utilizada para iluminación y electrodomésticos.

ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE SISTEMAS SOLARES DE AGUA CALIENTE Y GENERACIÓN ELÉCTRICA

El análisis de determinación de las ventajas en el uso de paneles solares se subdivide en: Colectores para calentamiento de agua y Paneles Solares Fotovoltaicos para generación de energía eléctrica. En cada uno de los casos, se distingue qué tipo de energía se está reemplazando. De esta manera, se obtienen cinco casos de comparación.

a) Colectores solares

a1) Comparación Termotanques solares – Termotanques a Gas natural

La cantidad de energía que se necesita para hacer hervir 190 litros de agua, corresponde a 100.000KCal. Para llevar la temperatura de 24°C a 100°C se requiere $10,64\text{m}^3$ de gas natural. Un termotanque solar tiene una vida útil de aproximadamente 20 años. Con el nivel de insolación de la provincia de San Juan, se calcula que un termotanque solar de 200 litros generaría en ese período, unos 60,4 millones de kilocalorías. En la Figura 2 se presenta una gráfica comparativa de costos entre un calefón solar y uno a gas, con valores a octubre del año 2016. Los tres escenarios resultantes, se describen a continuación.

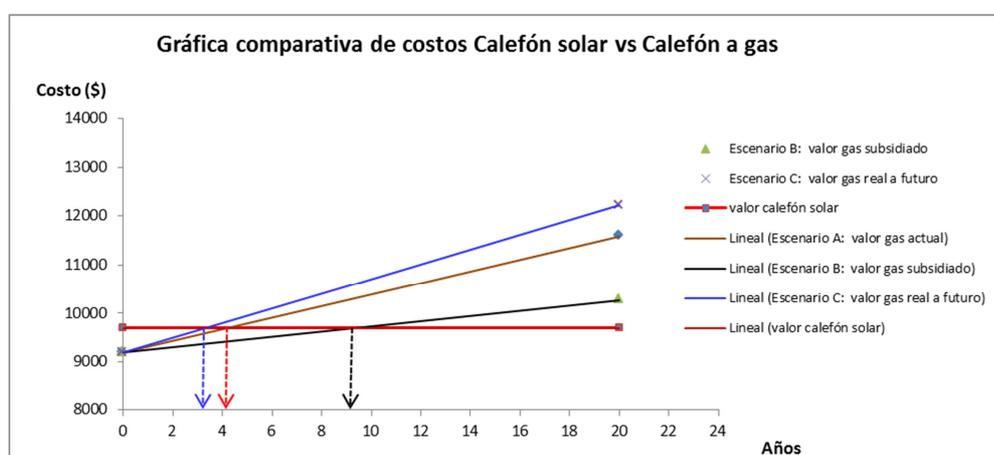


Figura 2.: Gráfica comparativa de Costos Termotanque Solar/Termotanque a gas

→ **Escenario A: cuadro tarifario facturado por Gas Cuyana para junio y julio de 2016**

Las 100.000KCal necesarias para hervir el agua tuvo un valor de \$1.069, conforme los precios actuales parcialmente subsidiados de \$1,77 por m³. Si se le suma el precio del termotanque a gas de 150lts de \$9.200 como promedio en casas de electrodomésticos, se obtiene que de aquí a 20 años, la operación total costaría \$10.269. El valor de un termotanque solar ronda los \$9.700, con lo cual la inversión solar se recupera en 9,3 años, obteniendo 10,7 años de energía gratis.

→ **Escenario B: cuadro tarifario publicado por Gas Cuyana para facturar en el último bimestre de 2016.**

Con precios a octubre de 2016 (Gas Cuyana, 2016) subsidiados parcialmente de acuerdo con la decisión gubernamental adoptada posteriormente a la realización de la Audiencia Pública (mes de septiembre de 2016) de \$3,94 por m³ las 100.000KCal necesarias para hervir el agua, tendría un valor de \$ 2.380,00. Si se le suma el precio del termotanque a gas de 150lts de \$9.200 como promedio en una casa de electrodomésticos, se obtiene que de aquí a 20 años, la operación total costaría \$11.580. El valor de un termotanque solar ronda los \$9.700 con lo cual la inversión solar se recupera en 4 años, obteniendo 16 años de energía gratis.

→ **Escenario C: cuadro tarifario según facturación emitida por Gas Cuyana sin subsidio**

Las 100.000KCal necesarias para hervir el agua costarían hoy \$3.576 conforme a precios sin subsidios de \$5,92 por m³. Si se le suma el precio del termotanque a gas de 150lts de \$9.200 como promedio en una casa de electrodomésticos, se obtiene que de aquí a 20 años, la operación total costará \$12.776. El valor de un termotanque solar ronda los \$9.700, con lo cual la inversión solar se recupera en 3.2 años, obteniendo 16,8 años de energía gratis.

b) Paneles solares fotovoltaicos

Los paneles solares generan electricidad a través del efecto fotovoltaico, derivado del efecto fotoeléctrico. Su ventaja en ahorro otorga estabilidad a la electricidad evitando picos de tensión que pueden dañar electrodomésticos.

b1) Balance Energético Nacional

Según estadísticas oficiales del Balance Energético Nacional (Ministerio de Energía y Minería, 2015) Argentina consume 55.487 TEP; produce 73.229 PET e importa 18.278 PET. A su vez, del consumo total, el residencial es de 15.057 PET. Por tanto, se importa el 22% de la oferta nacional y el uso energético residencial significa el 27% del total consumido (Tabla 3). Del total energético consumido en el sector residencial, el 27% corresponde a la Energía Eléctrica y el 71% al Gas: 62% Gas distribuido y 9% Gas Licuado (Tabla 4)

 Ministerio de Energía y Minería	BALANCE ENERGETICO NACIONAL REPUBLICA ARGENTINA AÑO 2015 REVISION 2 - UNIDADES en MILES DE TEP Datos preliminares									
	PETROLEO	DERIVADOS DE PETROLEO	GAS NATURAL	CARBON MINERAL	ENERGIA NUCLEAR	ENERGIA HIDRAULICA	OTROS PRIMARIOS	OTROS SECUNDARIOS	ELECTRICIDAD	TOTAL
PRODUCCION	27.496	-	37.786	20	-	3.565	4.362	-	-	73.229
IMPORTACION	837	3.469	9.561	1.432	2.204	-	-	-	775	18.278
VAR.STOCK	- 230	49	- 8	71	-	-	-	-	-	- 118
EXPORTACION	- 1.878	- 1.885	- 73	- 8	-	-	-	- 702	- 5	- 4.552
BUNKER	-	- 1.840	-	-	-	-	-	-	-	- 1.840
NO APROVECHADO	-	-	- 254	-	-	-	-	-	-	- 254
OFERTA TOTAL	26.225	- 207	47.012	1.514	2.204	3.565	4.362	- 702	771	84.743
CENTRAL S.PUB.	-	- 4.790	- 12.380	- 526	- 2.204	- 3.526	- 52	- 38	11.322	- 12.193
CENTRAL AUTOP.	-	- 247	- 1.506	- 10	-	- 4	- 719	- 145	1.184	- 1.447
REFINERIAS	- 26.695	24.711	-	-	-	-	-	- 528	-	- 1.457
P.TRATAMIENTO GAS	-	2.885	- 3.817	-	-	-	-	932	-	0
DESTILERIA Y ACEITERA	-	-	-	-	-	-	- 2.098	2.017	-	81
OTROS	-	-	-	- 819	-	-	- 495	1.035	-	279
CONSUMO PROPIO	- 91	- 1.429	- 5.481	-	-	-	-	577	- 383	- 7.960
PERDIDAS	-	-	- 2.926	-	-	35	-	-	- 1.747	- 4.708
AJUSTES	561	- 80	216	- 154	-	-	-	- 6	-	537
CONSUMO FINAL	-	20.843	21.118	5	-	-	997	3.048	11.147	55.487
RESIDENCIAL	-	1.364	9.361	-	-	-	84	201	4.047	15.057
COMERCIAL Y SERVICIOS	-	399	1.464	-	-	-	42	134	2.620	4.642
TRANSPORTE	-	14.363	2.469	-	-	-	-	-	52	15.780
AGROPECUARIO	-	3.835	-	-	-	-	129	-	92	3.521
INDUSTRIAL	-	493	7.824	5	-	-	742	-	4.336	13.383
NO ENERGETICO	-	390	-	-	-	-	-	2.713	-	3.103

Tabla 3: Cuadro síntesis del Balance Energético Nacional – Año 2015

ACTIVIDADES	ELECTRICIDAD	GAS DISTRIBUIDO	GAS LIQUIDO	KEROSENE Y AEROKEROSENE	DIESEL OIL Y GASOL	FUELOIL	GASOLINA NATURAL	OTRAS NAFTAS	NOTONAFAS	NO ENERGETICO	GAS REFINERA	GAS DE COQUE	GAS DE ALTO HORNO	COQUE	CARBON DE LEÑA	BIOETANOL	BIO DIESEL	TOTAL SECUNDARIAS	TOTAL
PRODUCCION	12.508	33.816	2.841	1.382	10.180	4.514	1.010	961	8.280	2.410	1.275	123	599	1.523	335	413	1.004	81.521	73.229
IMPORTACION	775	4.804	-	88	3.337	-	-	28	11	77	-	-	-	-	-	-	-	8.925	18.354
VAR.STOCK	-	8	- 1	- 13	- 81	36	-	70	38	13	-	-	-	-	-	-	-	54	105
EXPORTACION	- 5	- 73	- 940	- 2	- 23	- 254	- 666	-	- 86	-	-	-	-	-	-	-	- 702	2.751	4.637
BUNKER	-	-	- 940	- 88	- 801	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.840	1.840
NO APROVECHADO	-	- 198	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	198	254
OFERTA TOTAL	13.277	37.340	1.901	322	13.317	3.725	755	382	6.299	2.413	1.275	123	599	1.523	335	413	903	85.711	84.747
CENTRAL SERVICIO PUBLICO	11.322	- 12.380	-	-	- 1.930	- 2.880	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	- 38	11.322	- 12.193
CENTRAL AUTOPRODUCTORES	1.184	- 1.506	-	-	- 59	- 112	-	-	-	- 76	- 10	- 135	-	-	-	-	-	1.184	- 1.447
REFINERIAS	-	-	988	1.382	10.180	4.514	- 797	961	8.280	891	1.275	-	-	909	-	- 407	- 886	27.307	1.457
PLANTA S TRATAMIENTO DE GAS	-	33.816	1.875	-	-	-	1.010	-	932	-	-	-	-	-	-	-	-	37.432	0
DESTILERIA Y ACEITERA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	413	1.504	2.017	81
COQUE	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	123	-	-	814	-	-	-	761	57
ALTO HORNO	-	-	-	-	-	-	-	-	583	-	-	-	599	- 1.223	-	-	-	1.162	61
CARBONERA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	335	-	-	335	160
TOTAL TRANSFORMACION	-	- 13.886	-	-	- 1.889	- 2.972	- 797	-	- 76	- 10	- 135	- 1.223	-	- 407	- 903	-	-	22.397	- 15.437
RESIDENCIAL	4.047	9.361	1.348	95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	201	-	-	14.973	15.057
COMERCIAL Y SERVICIOS	2.820	1.464	225	-	113	81	-	-	-	-	-	-	-	-	134	-	-	4.617	4.659
TRANSPORTE	52	2.469	-	508	7.475	82	-	6.299	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16.883	16.883
AGROPECUARIO	92	-	94	-	3.624	117	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.927	4.056
INDUSTRIAL	4.338	7.824	208	-	113	174	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.653	13.400
CONSUMO ENERGETICO	11.147	21.118	1.872	322	11.326	434	-	6.299	-	-	-	-	-	-	335	-	-	53.054	54.055
NO ENERGETICO	-	-	-	-	-	-	390	-	2.413	-	-	-	-	300	-	-	-	3.103	3.103
CONSUMO FINAL	11.147	21.118	1.872	322	11.326	434	390	6.299	2.413	-	-	-	-	300	335	-	-	56.157	57.158
CONSUMO PROPIO	- 383	- 949	- 29	-	- 2	- 319	-	1	0	-	- 1.078	- 112	- 464	-	-	-	-	3.338	7.960
PERDIDAS	- 1.747	- 1.988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.734	4.708
AJUSTES	-	-	-	-	-	-	41	-	-	-	121	-	-	-	-	-	6	- 86	537

Tabla 4: Cuadro Incidencia de la EE en el total energético consumido nacional

b2) Paneles solares versus electricidad de red

Costo energía

De acuerdo con cifras oficiales publicadas por el Ministerio de Energía y Minería de la Nación en el año 2016 el precio monómico (valor final promedio) de la energía eléctrica durante el mes de agosto fue de \$1.145,6 por MWh, es decir, U\$S 76,7 por MWh. Buena parte de ese valor está influenciado por la energía térmica fósil, que domina el parque eléctrico argentino conformando un 66 por ciento de la matriz de generación bruta. El resto está constituido por un 27 por ciento de energía hidroeléctrica, un 5 por ciento de energía nuclear y apenas un 2,1 por ciento de energías renovables.⁶ En la provincia de San Juan, en promedio, el kilowatt-hora se paga \$0,6065 según las facturas de electricidad de la distribuidora eléctrica Energía San Juan (septiembre 2016). El costo de la energía, trasladado a dólares, es de U\$S 40 por MWh (cambio oficial a octubre de 2016: 1U\$S=\$15,3). Esto significa casi la mitad (53%) de lo que cuesta su producción y distribución (\$1.145,6).

Costo paneles solares

Para una batería solar pequeña conectada a la red con cuatro paneles de 240W, la instalación llave en mano es de aproximadamente U\$S 5.700. Para el nivel de insolación de la ciudad de San Juan, este sistema generaría en 30 años unos 51,8MWh. Es decir que cada MWh solar costaría U\$S 110.

Análisis de la relación PS - EE

Si el precio del MWh de consumo en la provincia coincidiera con el de su producción, es decir, de U\$S 344, el costo de U\$S 110 de la producción eléctrica fotovoltaica, constituiría el 30% de aquella. Por tanto, la utilización de esta fuente renovable de energía, resultaría altamente rentable en términos económicos, y sustentable en términos ambientales. De esta manera, la inversión del sistema solar se amortizaría en 10 años, logrando 20 años de electricidad gratis y un ahorro de más de U\$S 800 durante la vida útil (30 años) de los paneles fotovoltaicos.

RESULTADOS

Se obtuvo una base de datos climáticos del clima del área metropolitana de San Juan, estacional y anual del período 1995-2015 (Tabla 5).

Período	Temperatura Bulbo Seco (°C)			Humedad Relativa (%)			Radiación Solar (W/m ²)	
	Promedio	Máximo Promedio	Mínimo Promedio	Promedio	Máximo Promedio	Mínimo Promedio	Global	Difusa
Verano	27,18	33,15	21,27	37,35	53,79	24,22	612,48	132,00
Otoño	19,42	24,82	14,46	49,86	64,99	35,48	412,70	132,83
Invierno	11,92	17,77	6,50	43,69	57,52	29,48	324,60	101,06
Primavera	20,96	27,32	14,80	35,13	50,65	22,51	520,66	151,49
Enero - Diciembre	19,88	25,77	14,27	41,48	56,75	27,91	467,62	128,50

Tabla 5: Estadística climática período 1995-2015 del AMSJ

El coeficiente BLC (Building Load Coefficient) que indica la reducción de la carga térmica a la que está sometida la vivienda con mejoras en su envolvente (mampostería y aislaciones) resulta el 35,9% de la carga original sin mejoras.

La fracción de ahorro solar obtenida a través del diseño de viviendas con sistemas solares, resultó entre el 20 y el 22% de acuerdo con la orientación de la vivienda. Esto indica el porcentaje de ahorro que la vivienda brinda, Por lo tanto, las familias que habiten la Vivienda Solar Pasiva INEAA,

⁶ Electro News <http://www.tarifaselectricas.com.ar/?p=1931>. Octubre 2016.

abonarán en concepto de climatización edilicia, entre el 80 y el 78% de lo que abonarían habitando una vivienda Tipo IPV.

Para las viviendas ubicadas en calles con dirección E-O, es decir orientadas con un azimut de $\pm 0^\circ$ Norte la amortización se realiza en un período de 2,4 años. En las ubicadas en calles con dirección N-S, es decir orientadas con un azimut de $\pm 15^\circ$ Norte, en terrenos orientados E-O, la amortización es de 2,3 años.

Reemplazando el gas natural/licuado como energía para el calentamiento del agua por la radiación solar, se presentan dos escenarios a veinte años en relación con los dos valores del costo del combustible por readecuación de precios: uno en el primer semestre del año 2016 y el otro en el segundo. En el primer caso, la inversión solar se recupera en 4 años, obteniendo 16 años de energía gratis. En el segundo la inversión solar se recupera en 3.2 años, obteniendo 16,8 años de energía gratis. Durante los 30 años de vida útil de los paneles fotovoltaicos y haciendo coincidentes los precios del MWh de consumo eléctrico en la provincia con el de su producción, la inversión del sistema solar se amortizaría en 10 años, logrando 20 años de electricidad gratis y un ahorro de más de 800 dólares durante

El coeficiente BLC (Building Load Coefficient) que indica la reducción de la carga térmica a la que está sometida la vivienda con mejoras en su envolvente (mampostería y aislaciones) resulta el 35,9% de la carga original sin mejoras

La carga térmica de invierno a la que están sometidas las viviendas, se reduce en un 64,1%, con las medidas de conservación de la energía y los sistemas solares y variantes de mejora aplicados. El ahorro energético resulta del 20% y 22% y la amortización de 2,4 años y 2,3 años, según sea la orientación de la vivienda (azimut 0° N y $\pm 15^\circ$ N respectivamente).

CONCLUSIONES

Diseñar bioclimáticamente el hábitat de la población más carenciada, que en Argentina representa el tercio de su población, constituye una decisión que aporta ampliamente al mejoramiento de sus condiciones de vida.

Dicho mejoramiento no solo involucra confort higrotérmico, sino que a éste se le adiciona un importante ahorro en el consumo de energía convencional, valores cada vez más representativos dado el paulatino acomodamiento de los precios nacionales en relación con los internacionales.

Al respecto, al mes de septiembre de 2016 una familia que habitara la vivienda solar pasiva INEAA, hubiera abonado en concepto de climatización edilicia, entre el 78 y el 80% de lo que abonarían habitando una vivienda tipo IPV.

Si bien, el costo de la vivienda bioclimática INEAA supera en costo en un 17% a la del IPV, el ahorro en energía citado precedentemente, implica que dicho sobrecosto se amortiza en poco más de 2 años de ocupación de la vivienda

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Arq. Eduardo Yarke, asesor del trabajo, su intensa actividad en el desarrollo de programas de cálculo que contribuyan a la cuantificación del aporte de energías de flujo. Asimismo su desinteresado y permanente compromiso con el conocimiento y la formación de recursos humanos en la temática ambiental.

REFERENCIAS

Balcomb J. D. (1986). "Conservation and Solar Guidelines". Passive Solar Journal, 3 (3), 221-248.

- Balcomb J. D.(1980). “Conservation and Solar: working together”. AS/ISES. Proceedings of 5th National Passive Solar Conference, 44-50.
- Balcomb J. D., Jones R. W. (editor), Kosiewicz C. E., Lazarus G. S., Mc Farland R. D., Wray W. O. (1982) “Passive Solar Design Handbook.” American Solar Energy Society. Boulder, NY. EUA.
- Electro News (2016) Tarifas eléctricas en Argentina – Octubre de 2016 <http://www.tarifaselectricas.com.ar/?p=1931>.
- Energía San Juan (2016) Precio kilowatt-hora. Facturas domiciliarias Energía San Juan. 09/2016.
- Gas Cuyana (2016) Cuadro tarifario último bimestre de 2016 Página web Gas Cuyana.
- Gobierno Nacional argentino (2007) Decreto 140/2007. Uso Racional y Eficiente de la Energía.
- Instituto Provincial de la Vivienda (2016) Planos Prototipos de Viviendas sociales.
- International Energy Agency (2007) Internacional Energy Asociation. Statistics on the Web: <http://www.iea.org>
- INTI (2005) Saber Cómo. Ahorro y certificación energética: la envolvente de los edificios.
- Kurbán A., Cúnsulo M., Ortega, A. (2014-2015) Estadística Climática Diaria hora a hora Área Metropolitana de San Juan – Años 2014 – 2015. Informe Técnico. FAUD-UNSJ
- Kurbán, A; Cúnsulo, A.; Álvarez, A.; Montilla, E.; Ortega, A. (2015a) The role of bioclimatic architecture in the reduction of the emission of CO₂ in arid environments. Environmental Science: An Indian Journal. Ed. Trade Science Inc ISSN 0974-7451. Vol. 11 Issue 6. pp. 171 a178.
- Kurbán A., Cúnsulo M., Matar M., Ortega A., Ripoll V. (2015b) “Prototipo bioclimático de vivienda social para zona árida urbana”. Acta de la XXXVIII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 3, pp. 01.39-01.49, 2015. Impreso en la Argentina. ISBN 978-987-29873-0-5.
- Kurbán A., Cúnsulo, M., Álvarez, A., Montilla, E. y Ortega, A. (2016) Arquitectura bioclimática y ahorro energético del parque habitacional urbano en ambientes áridos. Revista ERMA “Energías Renovables y Medio Ambiente” Volumen N° 38 ISSN 0328-932X, Editorial ASADES.
- OLADE (2006) Informe de Estadísticas energéticas
- OLADE (2012) Organización Latinoamericana de Energía “Panorama General de los Hidrocarburos no Convencionales”.
- Papparelli A., Kurbán A., Cúnsulo M.. (1999-2013) Estadística Climática Diaria hora a hora Ciudad de San Juan – Años 1998 – 1999 – 2000 – 2001 – 2002 – 2003 -2004 - 2005 2006 - 2007 -2008 – 2009 -2010 - 2011 - 2012 - 2013 -2014 – 2015. Informe Técnico. FAUD-UNSJ.
- Ministerio de Energía y Minería (2015) Balance Energético Nacional Año 2015 – Revisión 2. Gobierno Nacional, República Argentina.
- Secretaría de Energía de la Nación (2006) Estadísticas Nacionales <http://www.energia.mecon.gov.ar/Electricidad/Informes>
- Yarke, Eduardo; Castillo, Pablo Alonso. “Un programa de cálculo para optimizar la relación entre sustentabilidad energética y rentabilidad de sistemas solares pasivos: el programa Optimix – versión 3.1”. ENTAC 2006, XI Encontro Nacional de tecnología no ambiente construido, Florianópolis, Pags. 3905 a 3914.

ABSTRACT

The energy and economic evaluation of an evolutionary bioclimatic social housing prototype designed in the Research Unit, for urban arid zones, is presented, calculating their respective costs. The performance of passive systems is evaluated with the Optimix Program, using the Collector Load Rate Method (Los Álamos National Laboratory). The investment alternatives are adopted from the calculation from the Net Present and Marginal Value. The results quantify the use of passive solar systems to make more efficient the thermal and economic benefits of the executed prototypes. The winter thermal load, to which the homes are exposed, is reduced by 64.1%, with technics of conservation of energy and the improvement of solar systems and variants applied. Energy savings result in 20% and 22% and the amortization of 2.4 years and 2.3 years, depending on the orientation of the prototype (azimuth 0° N and ± 15° N respectively).

Keywords: Bioclimatic architecture - Energy savings - Economic evaluation - Social housing - Arid urban climate.