

## **ESTIMACION DEL AHORRO ENERGÉTICO QUE PODRIA OBTENERSE DEL USO DE SISTEMAS TERMOSOLARES HÍBRIDOS EN DISTINTOS PUNTOS DE ARGENTINA**

**A. Lanson y A. Bianchi**

GERSolar - INEDES - Universidad Nacional de Luján  
Luján, Ruta 5 y Avda. Constitución, (B6700CED) Luján, Buenos Aires, ARGENTINA  
E-mail: [gersolar@yahoo.com.ar](mailto:gersolar@yahoo.com.ar)

*Recibido 16/09/15, aceptado 13/10/15*

**RESUMEN.-** Este trabajo presenta una estimación del ahorro energético que podría obtenerse en distintas localidades argentinas mediante el uso de sistemas termosolares para el calentamiento de agua domiciliar. Su abordaje comprendió cinco etapas: el ensayo comparativo de un termotanque convencional y uno solar; la obtención de una base de datos con sus resultados diarios; el modelado del ahorro energético entre equipos; la elaboración de bases de datos meteorológicos de otras localidades y la aplicación del modelo en ellas. Un banco de ensayo que simula el consumo de una familia tipo facilitó las primeras etapas. Los modelos elaborados son funciones lineales de la radiación incidente; la radiación del día anterior y la temperatura media diaria, información obtenida gracias a la antigua Red Solarimétrica Argentina y al Servicio Meteorológico Nacional. Los resultados mostraron un ahorro que varía entre el 38 % y el 50 % en localidades del centro y norte del país.

**Palabras clave:** energía solar, termotanque solar, ahorro modelado

### **OBTAINABLE ENERGY SAVING FROM THE USE OF HYBRID THERMAL SOLAR SYSTEMS ACROSS ARGENTINA**

**ABSTRACT.-** The purpose of this work is to estimate the energetic savings that could be achieved in different parts of our country through the use of solar hot water systems. Five stages have been covered: comparative trial between a conventional water heater and a solar one; the acquisition of a database with daily test results; relative energetic savings modeling; meteorological database development of selected locations and the application of the model to these locations. A test bench for hot water consumption simulation was used for the first stages. A lineal model based on the incident radiation, radiation from the previous day and the average daily temperature was developed to run the third stage. The fourth phase was completed thanks to the former Argentinean Solarimetric Net and the National Weather Service. Finally, the fifth stage results showed savings ranging between 38 % and 50 % in central and northern Argentina towns.

**Keywords:** solar energy, hot hybrid systems, saving model

#### **1. INTRODUCCIÓN**

En los últimos años, gracias al hallazgo de reservas no convencionales de petróleo y gas, la tendencia decreciente de la producción de combustibles fósiles se ha revertido en algunos países, entre ellos Argentina.

A pesar de eso, un estudio reciente muestra que aun así, el creciente consumo energético no podrá satisfacerse completamente con recursos nacionales, al menos en el mediano plazo. La figura 1 muestra la tendencia del consumo y la producción de gas y la situación actual (Gil et al., 2015).

Todas las medidas que tiendan a mejorar la eficiencia energética de artefactos a gas o eléctricos impactan en la disminución de las importaciones de gas y en la disminución

de la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) propios del uso de combustibles fósiles.

La eficiencia energética o uso eficiente de la energía promueve la sostenibilidad económica, política y ambiental desde múltiples aspectos, uno de ellos es el uso de agua caliente que ronda el 25% del consumo energético total de una vivienda. En el análisis de este aspecto se destaca que la energía solar es una alternativa sustentable que permite disminuir el uso de los equipos convencionales de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y hasta en algunos casos reemplazarlos.

En este sentido es posible encontrar gran cantidad de trabajos sobre temas relacionados con el calentamiento de agua sanitaria a través de la producción de energía térmica con el recurso solar disponible, la eficiencia de diferentes diseños (Beikircher et al., 2014), el modelado de su

funcionamiento (Schnieders, 1997; Cadafalch, 2009 y Cadafalch et al., 2014), incluso se ha estudiado en profundidad las posibilidades que brinda el uso de los tubos de vacío y heat-pipes en esta aplicación (Launay et al., 2006). En Argentina, Lucchini modeló la producción térmica de un colector solar del tipo placa plana con inercia térmica (Lucchini et al., 2012).

Toda la bibliografía existente coincide en que la producción energética de los sistemas termosolares es dependiente, principalmente, de la radiación solar y la temperatura ambiente.

En este trabajo se propone, en primer lugar, el análisis de datos reales de ahorro energético en base a una demanda

patrón que representa el perfil de consumo de ACS del centro y norte del país. Este perfil de consumo asegura que el sistema híbrido solar deba responder con el mismo nivel de servicio que el sistema convencional, sin concesiones de prestación ni de época del año. En segundo lugar, un modelo de ahorro energético entre un sistema híbrido solar y un sistema convencional de ACS en base a variables meteorológicas disponibles, y no todas las medidas en el ensayo. En tercer lugar, aplicar este modelo a localidades con datos meteorológicos y poblacionales suficientes para proyectar un ahorro por usuario y estimar un máximo ahorro regional en el caso de implementar medidas para estimular el uso de esta tecnología.

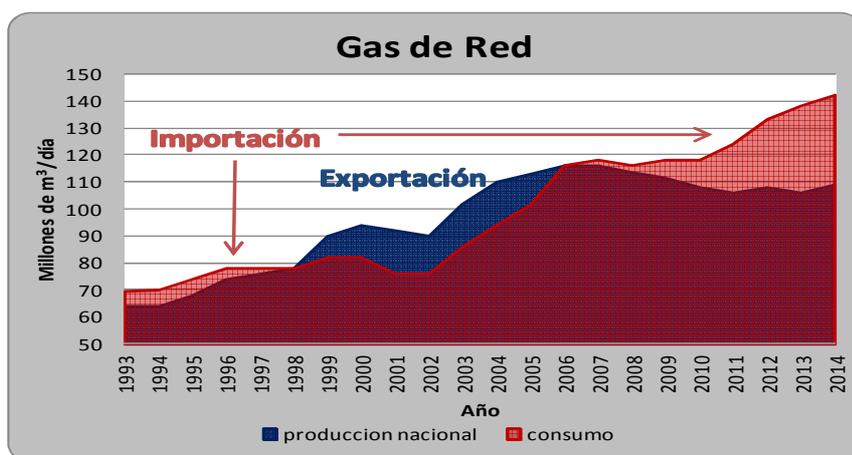


Fig. 1: El gas natural en Argentina –Estado de situación– Cámara Argentina de la Construcción 2015). En los últimos años se ve un cambio de tendencia en la producción por el aporte de los yacimientos de gas no convencionales. (Gil et al., 2015)

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Base de datos.

Para poder generar la base de datos que alimente el modelo, se realizó un ensayo simultáneo de un termotanque híbrido y un termotanque estándar disponibles en el mercado, en el laboratorio de GERSolar de la Universidad Nacional de Luján (34,588 °S; 59,065 °W; 30 msnm) entre los meses de Mayo 2014 y Junio 2015 inclusive.

El primer equipo es un híbrido solar-eléctrico, Figura 2, que consta de un tanque horizontal exterior de 290 litros, con una camisa de intercambio de calor alimentada con un líquido caloportador de solución de propilenglicol que absorbe energía en un colector solar de parrilla de cobre. El tanque es a su vez recubierto por una gruesa capa de aislante mineral. Dos paneles solares de 1,73m<sup>2</sup> de superficie colectora cada uno, cuentan con vidrio solar, superficie de absorción selectiva y aislación de lana de vidrio. La fuente de apoyo de energía convencional es energía eléctrica de red que alimenta una resistencia eléctrica de 1500 W. Todo el sistema se encuentra a 14 metros del punto de consumo. El segundo equipo es un termotanque eléctrico estándar de pie, 155 litros y con una resistencia de 1600 W. Este sistema dista a solo 1 metro del punto de consumo y dentro del mismo recinto.



Fig. 2: Sistema híbrido eléctrico-solar

El tablero de medición y control, está compuesto por:

- Un PLC Siemens Logo! 12/24RC flexible, fácilmente programable y con contadores rápidos compatibles con la frecuencia de pulsos del caudalímetro. Su programa ejecuta el protocolo de extracción de agua en cada uno de los termotanques. Precisión de reloj de 2 segundos por día y un retraso máximo en el cambio de señal (de 0 a 1 ó de 1 a 0) menor a 1 milisegundo.
- Un sensor de microcaudal digital Signet2000 versión 22 controla el volumen de agua caliente, envía el equivalente a 834,9 pulsos por litro al PLC. Incertidumbre de 1,3% sobre el fondo de escala, que

corresponde a 0,143 litros por minuto

- Las electroválvulas, controladas por el PLC, son Jefferson 1335B, están ubicadas a poca distancia de la válvula mezcladora, una para cada termotanque. Con el objeto de evitar fugas de agua en caso de inconvenientes con la válvula mezcladora o el caudalímetro, se instaló otra en la salida de agua caliente del tablero, aguas abajo del caudalímetro y conectada en serie con todas las electroválvulas mencionadas. Tiempo de respuesta máximo de 50 milisegundos. Distorsión de la medición del caudal 0,01 litros por extracción
- Una válvula mezcladora modera la temperatura del agua de cada extracción regulando la relación de caudal de agua fría y agua caliente proveniente del termotanque en ensayo. En este caso la temperatura fue regulada a 42°C
- Un datalogger NOVUS Field Logger con 8 entradas digitales y 8 entradas analógicas recibe, en sus entradas analógicas, la señal de termocuplas PT100 de 3 hilos que sensan la temperatura del agua en distintos puntos del ensayo. Las entradas digitales reciben la señal de apertura y cierre de las electroválvulas entre otras señales de control del proceso. Error de apreciación de 0,15 % del valor de "fondo de escala". (para las termocuplas que abarcan un rango de -200°C a 850°C, valor máximo de 1,575°C)

La radiación solar es registrada por un Novus LogBox AA en caja IP65 de dos canales analógicos de 16 bits. Una de sus entradas detecta la tensión de salida de un sensor fotovoltaico (inclinado un ángulo igual al plano de los colectores) fabricado por la Comisión Nacional de Energía Atómica que muestra la figura 3. El empleo de un sensor fotovoltaico presenta dos ventajas. En primer lugar, al medir en el plano inclinado, su constante de calibración no se ve afectada por los fenómenos convectivos que ocurren en los piranómetros termoelectrónicos. En segundo, permite medir la radiación con una incerteza del orden del 5%, lo que resulta más que suficiente para el tipo de análisis que el presente trabajo pretende



Fig. 3: Fotografía del sensor fotovoltaico CNEA

- Tres wattímetros TBCin DD-282 clase 2 marcan el consumo eléctrico total de cada uno de los sistemas eléctrico. El estado de estos medidores es registrado manualmente a las 18 horas, hora de corte de cada día. Nivel de apreciación de 0,01kWh, que fue mejorado a 0,005 kWh con mejores técnicas de observación. Fueron calibrados y validados periódicamente con un analizador de energía EL CONTROL, de clase 1.

Todo este instrumental permitió realizar las siguientes mediciones:

- a) Cantidad de energía extraída de cada uno de los dos sistemas. En primer instancia se definió, a partir del perfil de extracción propuesto en el protocolo interno de ENARGAS (NAG-313/09) que establece que la población del centro y norte del país utiliza agua caliente 5 veces por día: aproximadamente a las 7:00; 7:30; 12:00; 20:00 y 20:30 hs, en un promedio de 40 litros por vez, un total de 200 litros diarios a una temperatura de 42 °C.
- b) Temperatura:
  - i. Del agua a la entrada al sistema
  - ii. Del agua a la salida de la válvula mezcladora, la denominaremos temperatura de mezcla
  - iii. Ambiente exterior
- c) Energía solar diaria incidente en el plano del colector solar.
- d) Energía eléctrica consumida diariamente por cada termotanque.

Las variables analizadas fueron:

- Energía eléctrica consumida por cada sistema, expresada en kWh,  $E_{conv}$  y  $E_{hib}$
- Energía solar recibida por el plano inclinado de los colectores Rad, expresada en kWh/m<sup>2</sup>
- Energía solar registrada el día anterior Rad<sub>-1</sub>, expresada en kWh/m<sup>2</sup>
- Temperatura ambiente media diaria  $T_e$ , expresada en °C
- Energía calórica en kWh entregada por cada sistema,  $Q_{conv}$  y  $Q_{hib}$  durante las extracciones de agua caliente calculada como:

$$Q = V \cdot Cp \cdot [T_m - T_1] \quad (1)$$

donde:

V es el volumen de agua extraído del sistema

$C_p$  es la capacidad calorífica del agua para ese rango de temperaturas,

$T_m$  es la temperatura media del agua de mezcla durante la extracción

$T_1$  es la temperatura media del agua fría que entra al circuito

Así se generó una matriz con 256 registros suficientes para modelar el consumo del termotanque convencional, el consumo del sistema híbrido solar y el ahorro energético entre ambos sistemas.

Las dificultades técnicas para lograr una temperatura de mezcla idéntica para ambos sistemas en cada extracción, se evidenció frecuentemente en 3 de las 5 extracciones diarias con una energía calórica diaria extraída del sistema convencional superior en 4 %, a la del sistema híbrido. Para corregir esta desviación, se definió el valor de la energía calórica teórica requerida por el protocolo (NAG-313/09) para cada extracción, denominada energía calórica de referencia  $Q_{ref}$ . Este valor es función de la temperatura real del agua fría de entrada y la temperatura de mezcla estipulada en 42°C.

$$Q_{ref} = V \cdot Cp \cdot [42 \text{ °C} - T_1] \quad (2)$$

Tabla 1: Campos de datos que conformaron la primera base de datos. Todas las mediciones se expresan en kWh y en °C

fecha	Consumo 1 ( $E_{conv}$ ) [kWh]	Consumo 2 ( $E_{hib}$ ) [kWh]	Radiación incidente (Rad) [kWh]	Radiación del día anterior ( $Rad_{-1}$ ) [kWh]	Temp. media ambiente ( $T_e$ ) [°C]	Energía extraída 1 ( $Q_{conv}$ ) [kWh]	Energía extraída 2 ( $Q_{hib}$ ) [kWh]	Extracción energía ideal ( $Q_{ref}$ ) [kWh]	Ahorro s/ ideal [kWh]	Ahorro % (híbrido/ ideal)
25/05/2014	8,81	3,39	6,38	6,76	10,06	6,33	5,95	6,10	5,01	59%
26/05/2014	8,70	3,33	6,69	6,38	10,44	6,30	5,86	6,02	4,89	59%
27/05/2014	8,88	2,97	5,15	6,69	8,31	6,37	5,92	6,12	5,46	64%
28/05/2014	8,62	5,04	5,13	5,15	10,42	6,42	5,89	6,12	2,98	36%
29/05/2014	8,48	4,36	5,34	5,13	12,94	6,16	5,81	5,90	3,70	45%

En la tabla 1 se presentan algunas líneas a modo de ejemplo de los campos que conformaron la base de datos con la expresión del ahorro

Un análisis posterior demostró que la media y la varianza de la energía extraída del sistema convencional y las de la energía extraída del sistema híbrido no tienen diferencias estadísticamente significativas. La Figura 4 presenta la distribución de  $Q_{ref}$  donde puede apreciarse que sus límites abarcan tanto a  $Q_{conv}$  como a  $Q_{hib}$ .

Esto permitió prescindir del campo  $Q_{ref}$  para corregir el ahorro entre sistemas, simplificando la base de datos expuesta, como ejemplifica la tabla 2.

Posteriormente se generó una base de datos meteorológicos (radiación, temperatura máxima y temperatura mínima

diarias) de las localidades de Córdoba; Paraná; San Miguel; La Rioja; Rafaela; Cerro Azul (Misiones); Balcarce y Cerrillos (Salta). La radiación fue recopilada de los registros de la antigua Red Solarimétrica Argentina y debió ser transformada a radiación en plano inclinado a 42° según el modelo isotrópico introducido por Liu y Jordan (1961). Con las temperaturas máxima y mínima, obtenidas de los registros del Servicio Meteorológico Nacional, se determinó la temperatura media ambiente diaria. Ambos datos fueron ordenados con la fecha de cada registro y se completó el campo de datos Radiación solar en plano inclinado del día anterior.

Toda esta información conformó la base de datos de cada una de las localidades mencionadas. La tabla 3 presenta las fuentes consultadas.

Fig. 4: Diagrama de cajas de las mediciones de la energía extraída de cada sistema y la energía de referencia. Y Diagrama de cajas de la relación entre la energía extraída y la energía de referencia

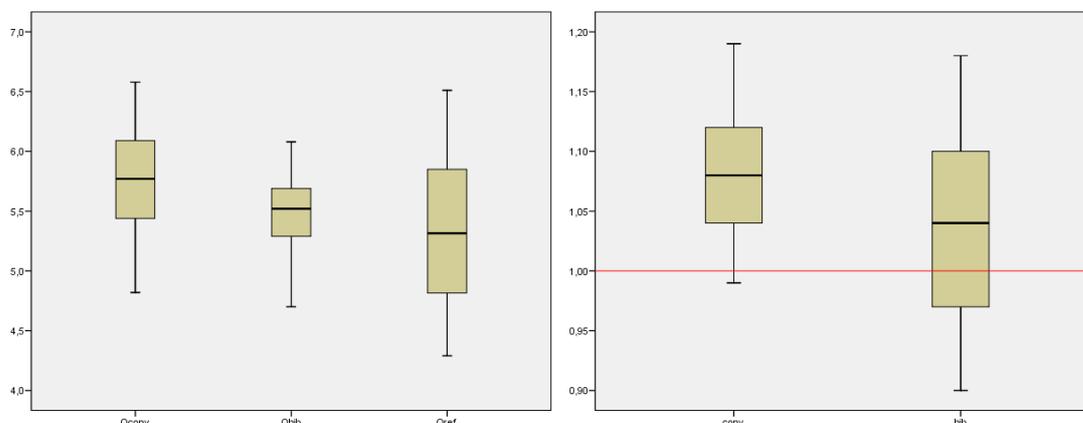


Tabla 2: Campos de datos que conformaron la base de datos utilizada para generar los modelos de consumo y el modelo de ahorro. Todas las mediciones se expresan en kWh y en °C

fecha	Consumo 1 ( $E_{conv}$ ) [kWh]	Consumo 2 ( $E_{hib}$ ) [kWh]	Radiación incidente (Rad) [kWh]	Radiación del día anterior ( $Rad_{-1}$ ) [kWh]	Temp. media ambiente ( $T_e$ ) [°C]	Energía extraída 1 ( $Q_{conv}$ ) [kWh]	Energía extraída 2 ( $Q_{hib}$ ) [kWh]	ahorro [kWh]	ahorro %
25/05/2014	8,81	3,39	6,38	6,76	10,06	6,33	5,95	5,41	61%
26/05/2014	8,70	3,33	6,69	6,38	10,44	6,30	5,86	5,37	62%
27/05/2014	8,88	2,97	5,15	6,69	8,31	6,37	5,92	5,92	67%
28/05/2014	8,62	5,04	5,13	5,15	10,42	6,42	5,89	3,58	42%
29/05/2014	8,48	4,36	5,34	5,13	12,94	6,16	5,81	4,13	49%

Tabla 3: Fuentes consultadas para completar cada uno de los campos de datos que conformaron las bases de aplicación del modelo de ahorro.

ESTACION			
SMN	CLAVE	Red Solarimetrica	Provincia
87345	CORDOB	Córdoba	Cordoba
87373	PARANA	Paraná	EntreRios
87569	SANMIG	San Miguel	Buenos Aires
87217	LRIOJA	La Rioja	La Rioja
87359	RAFAEL	Rafaela	SantaFe
87180	CEAZUL	Cerro Azul	Misiones
87691	BALCAR	Balcarce	Buenos Aires
87045	CERRIL	Cerrillos	Salta

### 3. MODELOS

Con la base de registros de Luján se ajustaron 4 modelos: el del consumo eléctrico del equipo convencional; el del consumo eléctrico del sistema híbrido y el del ahorro entre ellos, tanto como la resultante de la diferencia de los dos

modelos de consumo, como el modelo de la variable ahorro en función de las variables meteorológicas (Radiación; Radiación día anterior; Temperatura media). En todos los casos se optó por modelos lineales, evaluados según su coeficiente de determinación ( $R^2$ ); error medio (MBE + MBE%) y error cuadrático medio (RMSE + RMSE%).

Primeramente el ajuste de los cuatro modelos se realizó con valores de la base de datos presentada en la tabla 2. En las figuras 5 y 6 se grafican sus ajustes y su  $R^2$ .

Ambos modelos, diferencia entre los modelos de consumos y ahorro ajustado directamente con las variables meteorológicas, convergen en un mismo modelo con  $R^2 = 88,4 \%$ ; MBE = 0%; RMSE = 17,9%. Y responde a la ecuación 3:

$$\text{Ahorro} = -2,6 + 0,4238 \text{ Rad} + 0,7592 \text{ Rad}_{-1} + 0,0245 T_e \quad (3)$$

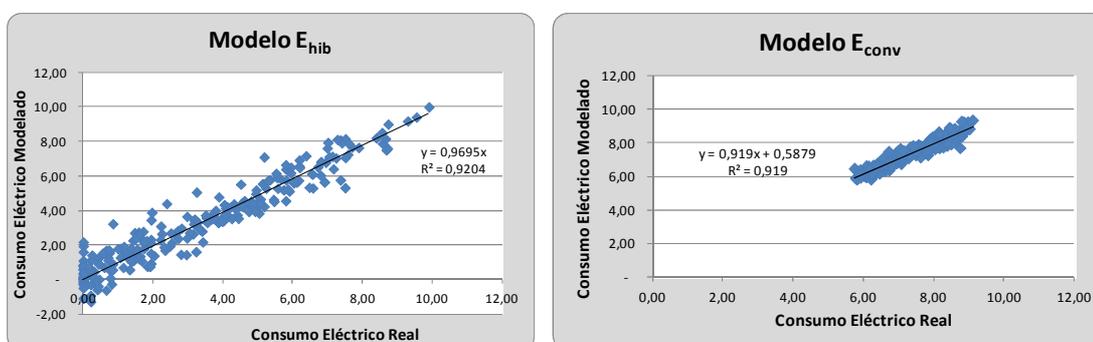


Fig. 5: Gráficos de dispersión de los modelos de consumo del sistema híbrido solar y del sistema convencional

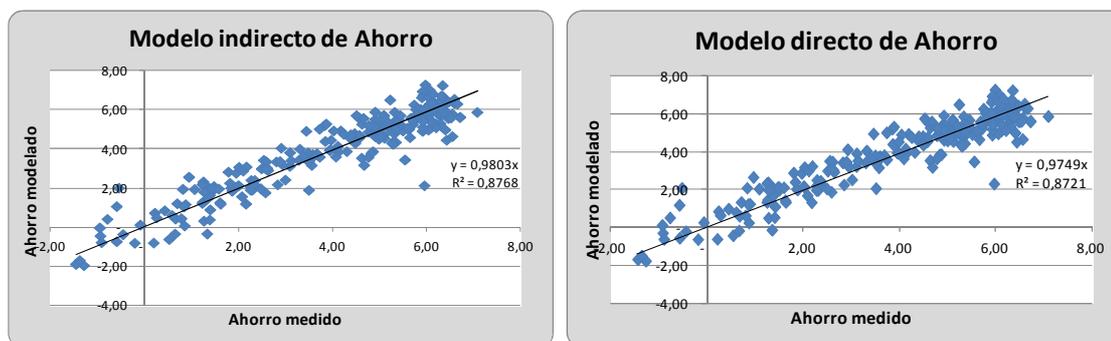


Fig. 6: Gráficos de dispersión de los modelos de ahorro, como diferencia de los modelos de consumo (indirecto) y como relación directa de las variables meteorológicas (directo)

Estos índices,  $R^2$ ; MBE% y RMSE%, fueron comparados con los de otros modelos de trabajos anteriores (Bianchi et al., 2015), elaborados con datos obtenidos en el mismo laboratorio y con el mismo protocolo de ensayo. Sorprendentemente, la validación de este modelo con datos históricos de Luján arrojó mejores resultados. Sus indicadores fueron:  $R^2 = 91\%$ ; MBE = -11% y RMSE% = 22% mientras que para el mejor de los modelos anteriores,  $R^2 = 70\%$ ; MBE = -15% y RMSE% = 40%.

Por último, se aplicó el modelo de ahorro, ajustado con los datos de Lujan, a las bases de datos de las localidades seleccionadas. Las bases de datos resultante de las

localidades de La Rioja, Rafaela y Balcarce no alcanzaron la cantidad de años históricos suficientes para considerar sus medias mensuales representativas de un año típico (Grossi Gallegos et al., 2013) y los resultados del modelo no fueron considerados.

### 4. RESULTADOS

La aplicación del modelo de ahorro energético a las bases de datos de las localidades elegidas determinó los ahorros mensuales y anuales en kWh por sistema, que se muestran en la tabla 4-a y en la tabla 4-b se expresa la proporción del consumo convencional que este ahorro representa.

Tabla 4-a: kWh de ahorro que pueden ser obtenidos con el uso del sistema híbrido solar ensayado, según el modelo obtenido

	Lujan	Córdoba	Paraná	San Miguel	Cerro Azul	Cerrillos
Enero	150	117	126	139	105	82
Febrero	122	117	117	127	92	77
Marzo	134	111	132	133	116	87
Abril	116	89	101	90	94	87
Mayo	91	68	92	75	93	74
Junio	67	58	61	47	72	75
Julio	73	72	81	68	75	79
Agosto	90	89	102	76	81	90
Septiembre	104	95	105	90	76	90
Octubre	129	112	113	99	93	91
Noviembre	137	109	117	116	104	75
Diciembre	149	123	123	142	105	91
<b>Total año</b>	<b>1362</b>	<b>1161</b>	<b>1271</b>	<b>1203</b>	<b>1106</b>	<b>998</b>

Tabla 4-b: % de ahorro que pueden ser obtenidos con el uso del sistema híbrido solar ensayado, según el modelo obtenido

% Ahorro	Lujan	Córdoba	Paraná	San Miguel	Cerro Azul	Cerrillos
Enero	76%	60%	65%	71%	56%	40%
Febrero	67%	64%	65%	69%	53%	40%
Marzo	63%	54%	66%	65%	59%	40%
Abril	53%	42%	47%	41%	46%	40%
Mayo	37%	29%	40%	31%	42%	31%
Junio	26%	24%	26%	19%	32%	31%
Julio	28%	28%	32%	26%	32%	31%
Agosto	35%	37%	42%	31%	36%	37%
Septiembre	44%	43%	47%	39%	36%	40%
Octubre	57%	51%	52%	43%	44%	42%
Noviembre	66%	54%	57%	56%	53%	36%
Diciembre	73%	63%	62%	71%	55%	45%
<b>Total año</b>	<b>50%</b>	<b>45%</b>	<b>49%</b>	<b>45%</b>	<b>45%</b>	<b>38%</b>

Tabla 5: Ahorro relativo al consumo convencional anual.

	Lujan	Córdoba	Paraná	San Miguel	Cerro Azul	Cerrillos
<b>Ahorro Anual</b>	1362	1161	1271	1203	1106	998
<b>Consumo Convencional</b>	2700	2599	2598	2669	2472	2657
<b>%Ahorro</b>	50%	45%	49%	45%	45%	38%

Tabla 6: Ahorro en kWh mensual modelado para cada localidad elegida con inclinación en un ángulo óptimo de invierno

Inclinación	55,74	56,08	57,75	51,68	50,06
	Córdoba	Paraná	San Miguel	Cerro Azul	Cerrillos
Enero	91	98	105	88	69
Febrero	97	97	104	80	68
Marzo	100	120	120	107	80
Abril	86	98	88	92	85
Mayo	71	96	80	95	75
Junio	62	67	53	75	77
Julio	76	86	74	77	81
Agosto	89	102	77	80	88
Septiembre	87	97	82	70	85
Octubre	95	95	81	81	82
Noviembre	85	91	88	87	63
Diciembre	93	92	105	86	75
<b>Total año</b>	<b>1033</b>	<b>1138</b>	<b>1057</b>	<b>1018</b>	<b>928</b>
<b>%Ahorro</b>	40%	44%	40%	41%	35%

En la tabla 5 se presentan los valores de ahorro relativo al consumo convencional.

Dado que el equipo ensayado tiene una inclinación fija de 42°, la proyección de la radiación a plano inclinado se hizo en este ángulo para todas las localidades. Un ángulo de inclinación óptimo para la generación anual de energía (Righini et al., 2011) mejoraría el valor de ahorro. El uso de ACS es crítico en invierno lo que justificó la aplicación de un ángulo óptimo de invierno a la radiación en plano inclinado. La aplicación del modelo con estos ángulos de inclinación arrojó los valores expresados en la tabla 6.

## 5. DISCUSION

El modelo aplicado contempla un consumo fijo de agua caliente (200 litros/día a 42°C) que corresponde al consumo promedio de una familia tipo de 3,5 personas en el centro y norte Argentino. Las localidades elegidas tienen un promedio de personas por vivienda que varía desde 2,98 hasta 4,21 y los hábitos de consumo de agua caliente varían también tanto en función de las características climáticas de

la zona como del sector social al que pertenecen las viviendas.

Tres de las localidades elegidas tienen una base de datos meteorológicos insuficientes para considerar los resultados representativos de un año típico. La aplicación de este modelo estará supeditada a la obtención de datos meteorológicos que completen 7 años consecutivos (Grossi Gallegos et al., 2013).

El sistema híbrido es comercializado con una estructura metálica con un ángulo de inclinación fijo de 42°. El cálculo del ahorro correspondiente a una inclinación en un ángulo de maximización para invierno (Righini et al., 1999) arroja valores 4 % mayores para los meses de invierno, pero disminuyen el ahorro anual un 6 % promedio.

Finalmente, el sistema ensayado tiene una fuente auxiliar eléctrica. En Córdoba y el Gran Buenos Aires se concentra el 93 % de la población que habita en las localidades de este trabajo. En estas regiones más del 65 % de las viviendas tiene Gas de Red o a granel. Estos datos demográficos se presentan en la tabla 7.

Estación	Departamento	Provincia	Habitantes / vivienda	Viviendas con Gas en red o a granel	%Gas	otros combustibles
			personas	viviendas	%	viviendas
Córdoba	Capital	Cordoba	3,21	283.361	68%	130.876
Paraná	Paraná	EntreRios	3,24	43.837	42%	61.193
San Miguel	24 partidos del GBA	Buenos Aires	3,38	1.931.498	66%	1.002.875
Cerro Azul	L.Alem	Misiones	3,45	18	0%	13.045
Cerrillos	Cerrillos	Salta	4,21	2.613	31%	5.892

Tabla 7: Viviendas con Gas de Red o a granel en cada localidad según censo 2010

Se espera que en estos casos el ahorro energético sea mayor dado que los sistemas con llama piloto tienen mayor consumo energético que los sistemas eléctricos (Bezzo y col. 2011).

## 6. CONCLUSIONES

Este trabajo es el primer paso hacia la estimación del ahorro energético que puede obtenerse con esta tecnología si se implementaran políticas públicas que incentiven su uso y se combatieran algunas de las barreras relevadas por la OLADE en su informe del año 2010.

Estos resultados permiten esperar un ahorro energético entre el 38 % y 50 % en las regiones de Córdoba Capital, Paraná (Entre Ríos), Cerro Azul (Misiones), Cerrillos (Salta) y los 24 partidos del Gran Buenos Aires.

El ángulo de inclinación del plano de captación de los colectores, óptimo para un ahorro máximo en invierno, mejora el ahorro de invierno en un promedio de 4 % y 7 % en el mejor de los casos (Estación San Miguel), pero disminuye el ahorro anual en un 8 % en promedio y un 12 % en el peor de los casos (Estación San Miguel). Un análisis del impacto global que podría tener este cambio en el ángulo de inclinación determinaría su factibilidad.

En las regiones de Córdoba Capital y el Gran Buenos Aires

predominan los sistemas de CAS a gas natural de red y a granel. Un estudio comparativo de estos resultados con el consumo energético de los equipos a gas permitirá estimar el ahorro de gas que se obtendría en estas zonas con el uso de esta tecnología.

Se observa consistencia con trabajos publicados, tanto en la cantidad de años necesarios para promediar un año típico de ahorro (Grossi Gallegos et al., 2013), como en la homogeneidad del ahorro estimado dentro de la región climática Templado Húmeda (Raichijk et al., 2011), como también con el ahorro energético esperado con el uso de esta tecnología a nivel domiciliario en el centro y norte de Argentina estimado por el Dr. Salvador Gil en el año 2012 (Gil et al., 2012).

En próximos estudios la generación de una base de datos meteorológicos mayor, que asegure el historial necesario para determinar un año típico de ahorro, y extender este análisis a más localidades, permitirá cubrir un territorio con mayor representación demográfica.

En el futuro, una vez que se reúnan suficientes datos y se sumen al análisis otros sistemas híbridos, como por ejemplo combinaciones solar-gas, la información recolectada permitirá evaluar ahorros potenciales de gas en distintas zonas del país en las que se aprovechen estos equipos. Esa información podrá constituirse en una herramienta de planificación importante por parte del estado, para

fundamentar políticas de incentivo a la instalación de estos sistemas solares. En un contexto de aumento de la demanda de los combustibles fósiles contar con dicha información presupondrá una ventaja en la confección de políticas de manejo de los recursos energéticos.

El hecho de contar con un banco de ensayos operativo, con facilidades de medición y flexibilidad de extracción, que puede acomodarse a distintos escenarios, presenta una doble ventaja: por un lado, la posibilidad de ensayar distintos perfiles de extracción de agua para estudiar diferentes situaciones de demandas sobre los sistemas y la respuesta de los mismos, por el otro, facilitará el análisis de modificaciones en los parámetros de instalación de los sistemas híbridos, permitiendo evaluar su impacto en el ahorro del consumo de energía.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Salvador Gil por su participación en este proyecto, a ENARGAS y la UNSAM, quienes han contribuido al financiamiento del mismo. De igual forma, la participación generosa de las firmas Orbis y Rheem, quienes facilitaron el equipamiento, al Ing. Eduardo Benitez Sigaut y al Sr. Adrian Roldan quienes pusieron tiempo y esfuerzo en construir el tablero de ensayo y lograr su puesta en marcha. Al Dr. Raúl Righini por su permanente predisposición a colaborar y mejorar nuestra formación.

### REFERENCIAS

- Beikircher T., Berger V., Osgyan P., ReuB M., Streib G. (2014). Low-e confined air chambers in solar flat-plate collectors as an economic new type of rear side insulation avoiding moisture problems. *Solar Energy* **105**, 280-289.
- Bezzo E.J., Bermejo A., Cozza P.L., Fiora J.A., Gil S., Maubro M.A., Miotto J.M., Prieto R. (2011) Impacto de los consumos pasivos en artefactos a gas en el consumo de energía. ELAEE 2011, Buenos Aires.
- Bianchi A., Lanson A. (2015) Modelado del consumo energético en termotanques solares híbridos y convencionales bajo exigencias normales de uso. Actas del Congreso Latinoamericano de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, pp. 1058-1067
- Cadafalch J. (2009). A detailed numerical model for flat-plate solar thermal devices. *Solar Energy* **83**, 2157-2164.
- Cadafalch J. y Cónsul R. (2014). Detailed modeling of flat plate solar thermal collectors with honeycomb-like transparent insulation. *Solar Energy* **107**, 202-209.
- Commoner B. (1978). L'energía alternativa, pág. 168. Riuniti, Roma.
- Gil S., Benitez E E., Bezzo E., Filloy E., Garcia M., Lanson A., Maubro M., Maronna O., Montenegro E., Prieto R., Righini R., Roldán A., Unger H. (2012). Hacia un uso más eficiente del gas. Aprovechamiento de la energía solar en Argentina. Encuentro Nacional de Eficiencia Energética – Ciudad Autónoma de Buenos Aires
- Gil S., Givogri P., Codesiera L. (2015) El gas natural en Argentina – Proyección 2016-2025) Informe para la Cámara Argentina de la Construcción
- Grossi Gallegos H., Croquet E., Spreafichi M.I. (2013). Acerca de la longitud de las series temporales de irradiación solar global con vistas a su aprovechamiento energético. *Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*, **1**, 11.85-11.92
- Launay S., Sartre V., Bonjour J. (2006). Parametric analysis of loop heat pipe operation: a literature review. *International Journal of Thermal Sciences* **46**, 621-636.
- Liu, B.Y.H. and Jordan, R. (1961) Daily insolation on surfaces tilted toward the equator. *ASHRAE Journal*, pp. 53-59.
- Lucchini, J. M., Stoll, R. G., Garnica, J. H., Barral, J. R. (2012). Modelado físico matemático de un colector solar del tipo placa plana con inercia térmica. Actas del III Congreso Argentina de Ingeniería Mecánica
- Raichijk C. y Lanson A. (2011). Evaluación de distintos modelos de estimación de la radiación solar global basados en datos de temperatura. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **15**, 11.09-11.13.
- Righini R. y Grossi Gallegos H. (2011). Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinado un ángulo óptimo en la República Argentina. Actas del Cuarto Congreso Nacional – Tercero Iberoamericano sobre Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía – HYFUSEN 2011, trabajo 11- 161.
- Righini R. y Grossi Gallegos H. (1999) Ángulos sugeridos para optimizar la colección anual de irradiación solar diaria en Argentina sobre planos orientados al norte. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **3**, 2, 11.33-11.36.
- Saravia L. (2006). Energías de fuentes renovables: cada vez más cerca. *Ciencia Hoy* **16**, 92, 58-64.
- Schnieders, J. (1997). Comparison of the energy yield predictions of stationary and dynamic solar collector models and the models' accuracy in the description of vacuum tube collector. *Solar Energy* **61**, 179-190.
- Censo 2010: <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>  
OLADE. Barreras para el desarrollo del mercado de la energía solar para calentamiento de agua en América Latina y el Caribe. 2010.  
[http://biblioteca.olade.org/iah/fulltext/Bjmbr/v32\\_2/old0221.pdf](http://biblioteca.olade.org/iah/fulltext/Bjmbr/v32_2/old0221.pdf).