

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE COCINAS SOLARES EN LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA PATAGONIA ANDINA: COMPORTAMIENTO DE INVIERNO

Alejandro D. González, Ernesto Crivelli

Grupo de Estudios Ambientales, Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medioambiente (INIBIOMA),
CONICET y Universidad Nacional del Comahue, 8400 Bariloche, Río Negro.

e-mail: agonzalez@crub.uncoma.edu.ar, crivelli@crub.uncoma.edu.ar

RESUMEN: La región norte de la Patagonia Andina dispone de alta radiación solar, aunque al presente su aprovechamiento energético es prácticamente nulo. Para promover su uso se construyeron dos prototipos de cocinas solares tipo caja, focalizando la promoción a través de talleres en sectores de la población con desventaja energética. Los dos prototipos son geométricamente iguales pero uno de ellos se equipó con aislación térmica y chapa de hierro en los paneles laterales internos. Se ensayaron las cocinas en los meses de junio y julio en la ciudad de Bariloche, en condiciones de temperatura y viento invernales. Las temperaturas máximas alcanzadas en el aire dentro de las cocinas fueron de 81°C y 64°C, con y sin aislación, respectivamente. Las temperaturas alcanzadas por 2 litros de agua de cocción alcanzaron valores máximos de 60°C. Las comparaciones para distintas condiciones climáticas demuestran la necesidad de una construcción térmica adecuada para extender el rango de aplicabilidad.

Palabras clave: Energía solar – Cocción – Zona Fría Patagónica

INTRODUCCIÓN

En trabajos anteriores (González et al, 2005; 2006) se describieron las condiciones de uso de la energía en el sector residencial con provisión de gas natural en la ciudad de Bariloche. Este sector se ve favorecido por un subsidio en el precio del gas que alcanza un 60% del total consumido, lo que en parte explica los altos consumos observados. Por otro lado, existe un amplio sector urbano y periurbano que no está conectado a la red de gas y que utiliza gas envasado o electricidad para cocción y calentamiento de agua, y leña para calefacción. De estos recursos energéticos, el único que cuenta con algún subsidio es el gas envasado, pero de proporción mucho menor al de gas de red, lo cual lleva a un precio final de gas envasado, en la región y por unidad de energía, de 14 a 20 veces más elevado que el del gas natural de red (González et al, 2006).

Esta situación de desequilibrio en la provisión de energía a distintos sectores de la población involucra varias consecuencias indeseables:

- i) falta de inversión en edificios térmicos adaptados a la región climática, que se resuelve en parte con alto consumo de gas subsidiado;
- ii) alto consumo de un recurso no renovable y con reservas limitadas al mediano plazo;
- iii) insatisfacción de la demanda en un sector que en su mayoría es el de menor poder adquisitivo (Indec, 2007), lo cual constituye un caso grave de injusticia social medio ambiental;
- iv) el bajo precio del gas no incentiva ni el ahorro ni el uso de energías renovables, y hasta en el sector desconectado los esfuerzos se dirigen a conseguir los recursos económicos para conectarse a la red;
- v) la gran demanda de leña presiona la conservación de los bosques nativos de la región;
- vi) el alto consumo de gas presiona continuamente a la ampliación de gasoductos para satisfacer una demanda que podría reducirse con mejoras edilicias y en la eficiencia de los artefactos.

La región cordillerana de la Patagonia tiene clima frío durante la mayor parte del año. Por ejemplo, Bariloche tiene una temperatura media anual de 8°C y una necesidad de calefacción de 3600 grado-día (base 18). Aun los meses de verano presentan temperaturas medias de 13 a 14 grados y del orden de 150 grado-día mensuales de calefacción (base 18) (SMN, 2007). Sin embargo, dadas las condiciones de altura sobre el nivel del mar, de nubosidad y de humedad atmosférica, la radiación solar es alta comparada con otras regiones del país. De acuerdo a las cartas solares de la Universidad de Luján (Grossi Gallegos, 1998; Raichijk et al, 2005), en verano el promedio de la radiación global diaria en esta región es uno de los más altos del país, alcanzando 7 kWh/m² (similar a la del NO argentino), y en invierno cercano a 2 kWh/m² (similar a la Prov. de Buenos Aires). Entonces, el recurso solar puede ser una alternativa viable, aunque al presente su aprovechamiento es prácticamente inexistente.

Dadas las condiciones de clima cordillerano, con predominancia de vientos fríos y fuertes, es posible que la implementación de los dispositivos solares habituales deba adaptarse para que su uso sea apreciado por los usuarios. Dentro de nuestro proyecto dictamos talleres sobre eficiencia energética y ahorro, en colaboración con municipalidades y cooperativas locales.

En los talleres pudimos observar un gran interés por el uso de la energía solar, pero al mismo tiempo desorientación en cuanto a cómo aprovecharla. En coincidencia con las observaciones de Esteves y Gascón (2005), diversos usuarios que manifiestan entusiasmo inicial luego encuentran dificultades en el uso continuo, por ejemplo, en la protección del vidrio y en su limpieza. Por esta razón iniciamos una línea de trabajo en la construcción e investigación de prototipos sencillos para cocción de alimentos y calentamiento de agua sanitaria, considerando diseños previos y las sugerencias de los propios usuarios.

En el presente trabajo mostramos resultados preliminares de las primeras cocinas solares construidas para satisfacer la demanda en barrios periurbanos sin provisión de gas natural en las ciudades de Bariloche, El Bolsón y El Hoyo, situadas entre los paralelos 41 y 42 de la Patagonia Andina. Elegimos un modelo de cocina tipo caja, de fácil construcción y dos opciones de complejidad: una con aislación térmica y chapa en todas las paredes internas, y la otra sin aislación y con chapa plana sólo en la base interior. Por experiencia previa en el uso de la cocina sin aislación sabemos que es eficaz en verano y en partes del otoño y primavera. La inclusión de la aislación térmica permitiría aumentar el rango temporal de uso, así como también la posible aplicación como caja caliente (Mercado y Esteves, 2004). En este artículo comparamos las prestaciones de los dos modelos midiendo la temperatura del aire y del agua en ollas estándar, en época invernal con condiciones de viento variables, durante los meses de junio y julio de 2007.

MATERIALES Y MÉTODO

Descripción de los prototipos

Las Figuras 1a) y 1b) muestran las cocinas solares construidas. Las dimensiones son: base 57cmx57cm; altura menor 17 cm; altura mayor 47 cm. Cuenta con reflectores rebatibles, de modo tal que sirven a su vez de cierre protector del vidrio. La cubierta de vidrio es fija y se accede a la cocina por la parte posterior (orientación sur), de abertura libre de 36cm de ancho y 25cm de altura, la cual permite acceder con una olla hasta de 10 litros de capacidad. El volumen interior permitiría, por ejemplo, situar dentro de la cocina una olla de 10 litros, y dos de 3 litros; aunque, por estudios previos, puede estimarse que estos volúmenes no alcanzarían la temperatura deseada (Quiroga y Saravia, 2004). Para las experiencias presentes sólo una olla de 3 litros de capacidad con 2 litros de agua se situó en las cocinas.



Figura 1a): Cocina solar con los reflectores cerrados. Se observan los soportes "U" inferiores para facilitar el acarreo.



Figura 1b): Detalle de la sujeción de los reflectores, y puerta de acceso posterior.

La estructura es autoportante de madera aglomerada tipo "fibrofácil", de 10 mm de espesor para los laterales y fondo, y de 4 mm para los reflectores. Se incluyen soportes en forma de U para facilitar el acarreo, los cuales permiten que con dos palos de elementos de limpieza usuales en la casa (escobas o cepillos) dos personas puedan transportar la cocina sin dificultad. El peso aproximado es de 20 kg. La cubierta superior consiste de un vidrio fijo de 3 mm. La rotación sobre la base no requiere de mayor esfuerzo.

La cocina sin aislación tiene una chapa de hierro de 1 mm de espesor pintada de negro mate sobre la madera de fondo; mientras que la que dispone de aislación se forró con tres capas de cartón corrugado encintado, y sobre este se colocó una cubierta interior de la misma chapa de hierro pintada de negro, tanto en el fondo como en los 4 laterales internos, inclusive en la puerta de acceso posterior. El costo de la cocina sin aislación fue de \$ 470 (de los cuales \$300 son de mano de obra), y del modelo con aislación \$ 650 (con \$ 400 de mano de obra).



Figura 2: Cocinas en operación.

La Figura 2 muestra las cocinas con los reflectores desplegados. Los paneles laterales y de fondo son iguales, rectangulares de 60x60 cm, unidos por bisagras a la estructura principal y a dos paneles triangulares de conexión, como muestra la figura. La superficie reflectante es de lámina de Aluminio comercial. Se previeron espacios abiertos entre los reflectores para disminuir la fuerza provocada por el viento. La media sombra de color verde que se observa a la derecha en la Figura 2 actúa como barrera de viento.

Mediciones

Se utilizaron termómetros para aire datalogger con precisión de 0,5°C, y de termocupla para el agua. Las ollas usadas son de chapa de hierro esmaltado con tapa de vidrio, similares a las estudiadas previamente por Filippin et al (2006). Como al presente no disponemos de radiómetro, la potencia absoluta de la radiación solar no pudo ser medida. A los fines comparativos, se localizaron además dos ollas testigo fuera de las cocinas, una en el ambiente exterior próximo a las cocinas, y otra detrás de una ventana orientada al norte en el interior de la vivienda. Esta comparación permite observar cuál es la ganancia de energía solar depositada en el agua en el caso de usarse las cocinas solares, mientras que muestra también la ganancia al localizar un recipiente en distintos lugares soleados, aun en el caso de no contar con una cocina solar.

En Bariloche, el viento predominante es del ONO, con velocidades entre 5 y 50 km/h con ráfagas y alta variabilidad diaria. Para las experiencias presentadas aquí el ángulo de los paneles reflectores no es el más adecuado, ya que se diseñó para un aprovechamiento máximo entre primavera y verano. Por lo tanto, su efecto no es relevante en las presentes mediciones, con excepción de una posible contribución en la disminución de la convección en el vidrio exterior.

Se realizaron ensayos en los meses de junio y julio en la ciudad de Bariloche, en un predio con orientación norte, de franca exposición al viento, y sin obstáculos para la captación de orientaciones NE, N y NO. Las temperaturas medias mensuales son de 2,6 °C y 2,1 °C para junio y julio, respectivamente, y el ángulo solar con respecto a la horizontal se encuentra entre 24 y 30 grados.

RESULTADOS

Las Figuras 3 y 4 muestran los resultados de mediciones para los días 29 de junio y 10 de julio, respectivamente. Las dos cocinas se situaron próximas, y en toda oportunidad se giraron simultáneamente. Los puntos en forma de rombo corresponden a la cocina con aislación; los rombos vacíos representan la temperatura del aire dentro de la cocina, y los rombos llenos la temperatura del agua. Los puntos cuadrados corresponden a la cocina sin aislación; representando los cuadrados vacíos los resultados para la temperatura del aire dentro de la cocina, y los llenos en el agua de la olla. Mientras que los triángulos vacíos representan la temperatura del aire exterior medida en la sombra.

Las mediciones en las ollas testigo están representadas por los triángulos llenos (olla situada en el exterior cercana a las cocinas solares), y por los círculos llenos (olla en el interior de la vivienda). En todos los casos las ollas se llenaron con dos litros de agua a la temperatura inicial dada por el agua de red obtenida en la vivienda, de alrededor de 6 grados para estos meses del año.

En las Figuras 3 y 4 puede observarse la baja temperatura de inicio, para el día 29 de junio cercana a 0°C y para el 10 de julio de -5°C a las 10.30 hora. Las variaciones horarias de temperatura son producidas por periodos nublados. La cocina con aislación conduce a temperaturas mayores. De la comparación de estos dos días puede observarse el efecto del viento. Para la

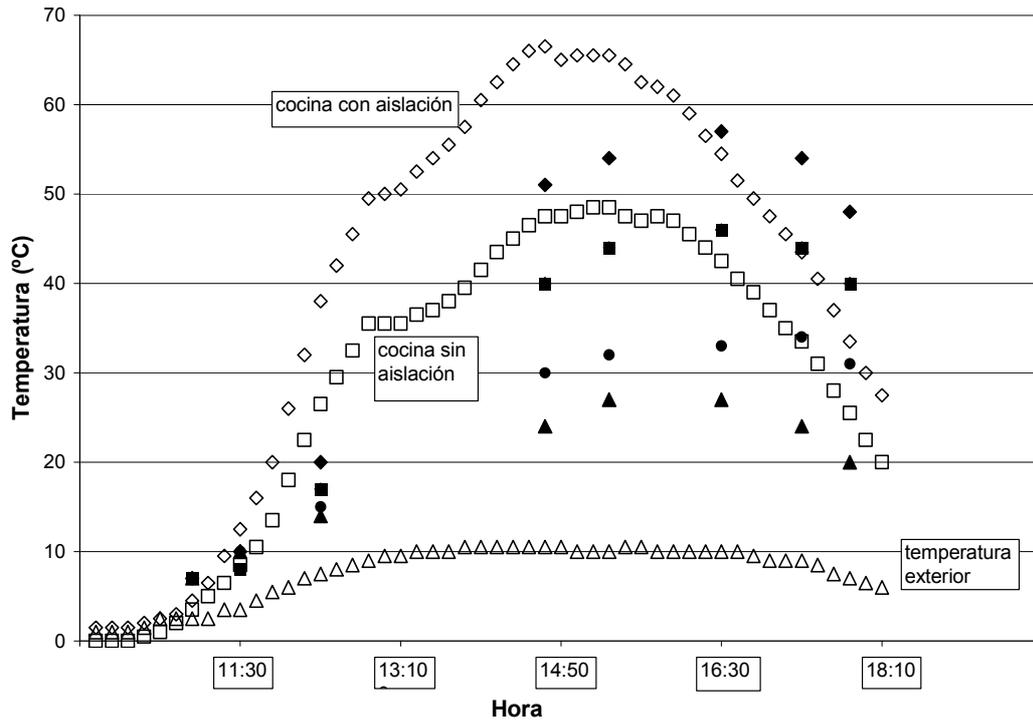


Figura 3: Temperatura en función del tiempo para el día 29 de junio. Rombos vacíos y llenos, temperatura de aire y agua en la cocina con aislamiento; cuadrados, idem en la cocina sin aislamiento; triángulos vacíos, temperatura exterior; triángulos llenos olla con agua en exterior; círculos, olla con agua en el interior de la vivienda.

medición del 29 de junio la temperatura exterior fue notablemente más elevada, y sin embargo las temperaturas máximas alcanzadas para la cocina con aislamiento son similares. En la figura 4, si bien la temperatura exterior presenta valores muy bajos, la velocidad del viento fue menor a 5 km/h. En el caso de la cocina sin aislamiento térmica, se observa mayor influencia de las bajas temperaturas exteriores en las pérdidas a través de la conducción en las paredes laterales y piso.

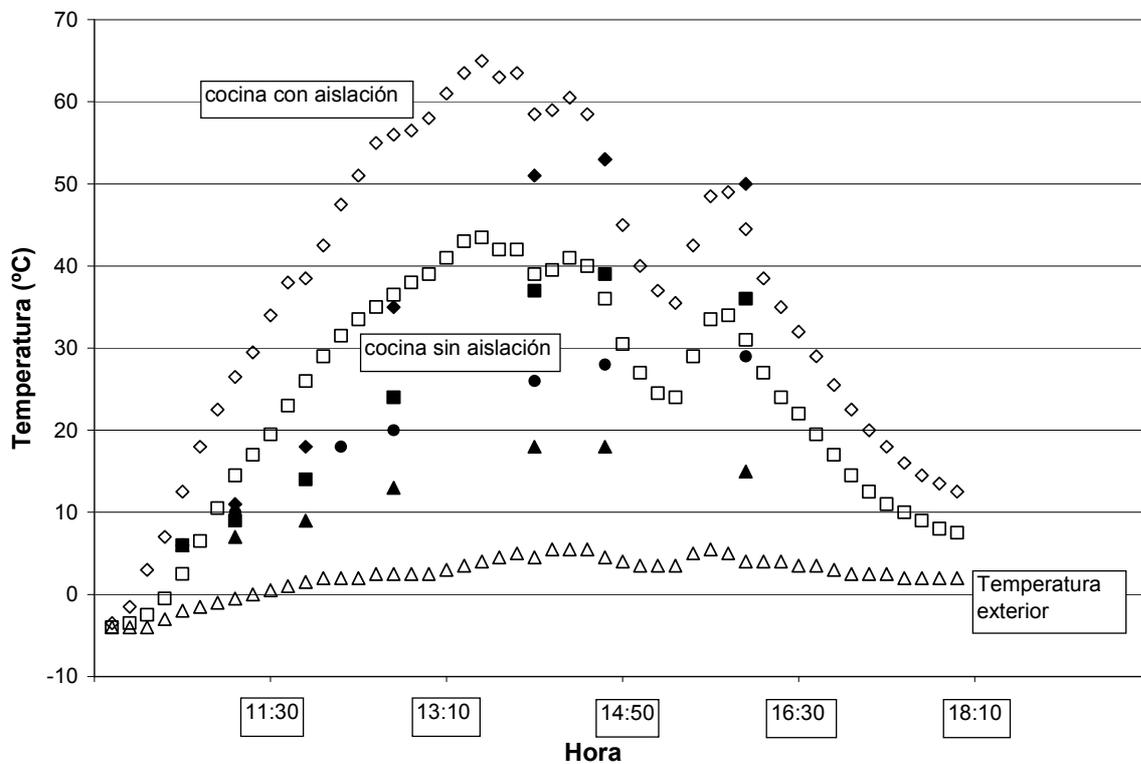


Figura 4: Mediciones obtenidas el 10 de julio. La nomenclatura es la misma que para la Figura 3.

El agua en una olla similar con tapa de vidrio expuesta al sol en el interior de la vivienda alcanza temperaturas de 29 grados y 33 grados centígrados, mientras la situada en el exterior alcanza 27 y 18 grados centígrados, en las figuras 3 y 4, respectivamente. Consideramos que estos datos son de valor educativo para la transferencia en los talleres sobre aprovechamiento de la energía solar.

Si bien las temperaturas alcanzadas en invierno no permiten la cocción de alimentos, puede estimarse el ahorro en gas envasado si se precalienta con la cocina solar. Suponiendo una temperatura inicial del agua de 6 grados, y una final de 50 grados cerca del mediodía, puede estimarse el ahorro en gas por cada litro de agua precalentada. Usando una eficiencia promedio de 40% para hornallas en cocción con gas envasado (González, 2003), el ahorro es aproximadamente 10 gramos de gas por cada litro de agua. Por otro lado, en las Figuras 3 y 4 puede observarse que la temperatura del agua permanece constante por un lapso algo mayor a 2 horas, lo cual permitiría el uso de la cocina solar como caja térmica, como fue sugerido previamente por Mercado y Esteves (2004).

En la Figura 5 se resumen las mediciones entre el 1 de junio y el 25 de julio. Se muestran las temperaturas máximas alcanzadas en el aire de las dos cocinas y la temperatura máxima exterior. La curva de interpolación se dibujó a los efectos de una mejor visualización. A lo largo de todo el período, en forma consistente la cocina con aislación presenta temperaturas mayores. En la Figura 5 se aprecia también el efecto del viento, debido al cual para días con temperaturas exteriores más bajas pueden corresponder temperaturas más altas en las cocinas.

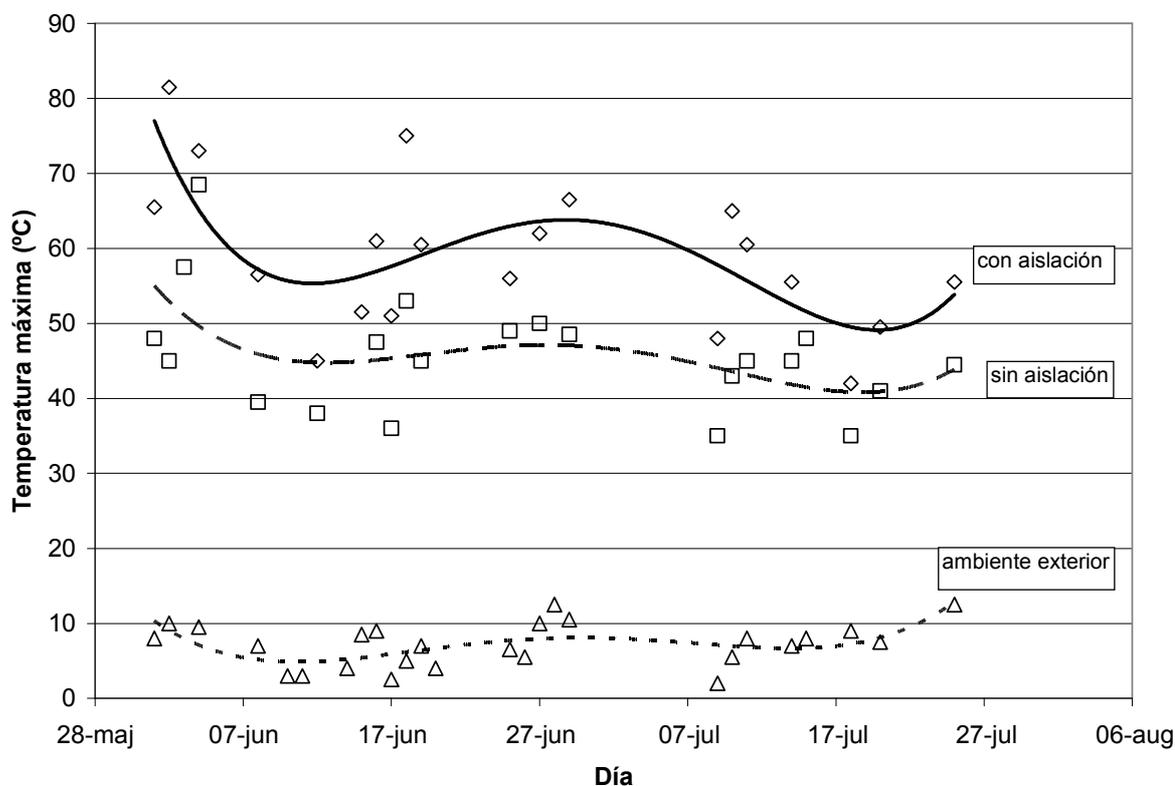


Figura 5: Temperaturas máximas para el aire en el interior de las cocinas (rombos con aislación térmica y cuadrados sin aislación), y la temperatura ambiente máxima (triángulos).

En la Figura 6 se grafican las temperaturas máximas alcanzadas en el interior de las cocinas, en función de la temperatura exterior máxima. Los rombos representan las mediciones en la cocina con aislación térmica, y los cuadrados sin aislación. La dispersión en los puntos se debe a variaciones en la energía solar incidente y en los vientos; sin embargo, en forma consistente la cocina con aislación térmica presenta mayores temperaturas.

Indicado por las cruces, en la Figura 6 también se grafica la diferencia entre las temperaturas máximas del aire en las cocinas con y sin aislación, en función de la temperatura exterior. De esta gráfica puede estimarse que, para el rango de temperatura ambiente de las presentes experiencias, el diseño con aislación térmica produce un aumento de la temperatura del aire dentro de la cocina solar que en promedio es de alrededor de 15 grados centígrados.

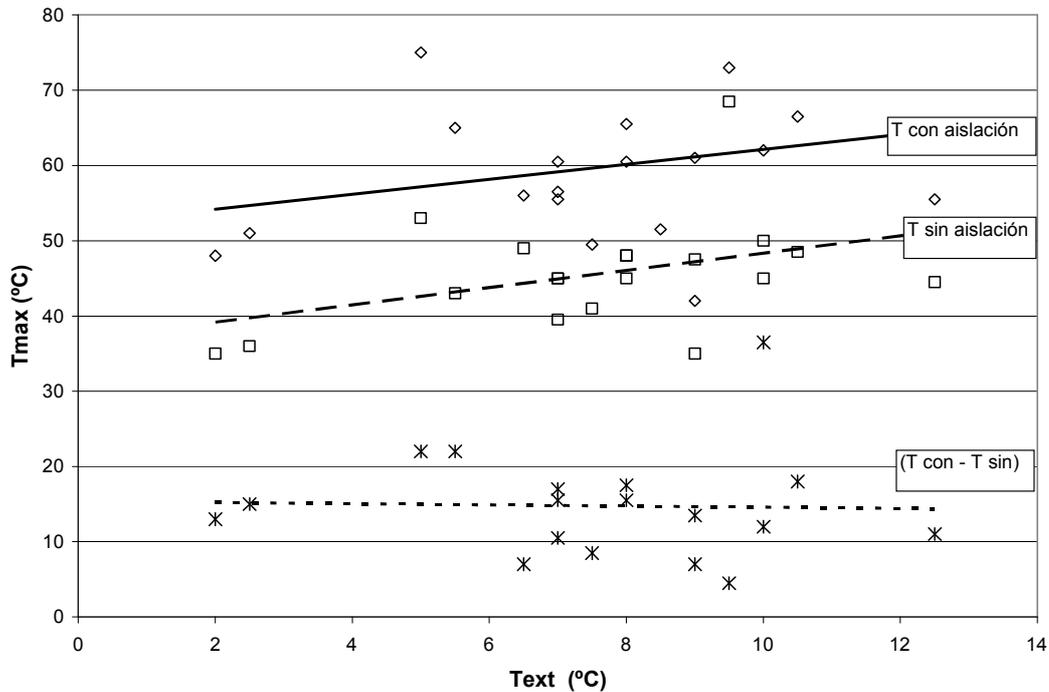


Figura 6: Temperaturas máximas en el interior de las cocinas con y sin aislamiento térmico, y las diferencias entre estas, en función de la temperatura exterior.

La mejora producida por la aislación térmica y el agregado de chapa de hierro en los laterales interiores es sustancial y debe ser considerada. Los materiales necesarios para su ejecución son de bajo costo (cartón corrugado de embalajes y chapa de hierro de 1 mm de espesor), aunque este diseño hace más complejo el armado y eventual mantenimiento. Por ejemplo, hay que prever que para un ajuste de los tornillos externos, no se puede acceder a las tuercas internas sin sacar la aislación. De todos modos, esto se resuelve trabando la tuerca interna en el armado. Podría también mejorarse el diseño de los reflectores para que sean efectivos en invierno, aunque los resultados sugieren que de todas formas no sería posible la cocción de alimentos en invierno con este tipo de cocinas solares. Sin embargo, se espera una ampliación significativa del rango temporal de uso de la cocina con aislación en los meses de primavera y otoño, para los cuales las condiciones exteriores son también de temperaturas bajas y fuertes vientos.

CONCLUSIONES

Se construyeron dos cocinas solares tipo caja para promover su uso a través de talleres en las ciudades de Bariloche, El Bolsón y El Hoyo, situadas en la región cordillerana del sur de Río Negro y norte de Chubut. Para adecuarlas a la posibilidad de autoconstrucción se eligió un diseño simple con paredes de madera, vidrio de cubierta fijo, y dos opciones de complejidad: una sin aislación térmica y con una sola chapa colectora en la base; y otra con aislación térmica y chapas de absorción en las paredes laterales internas.

Se ensayaron las cocinas en junio y julio, con temperaturas exteriores medias menores a 3°C, y condiciones de viento invernales. Ensayos previos mostraron que la cocina sin aislamiento opera en condiciones normales en verano, aunque con esta alternativa se lograron resultados pobres en las presentes mediciones de invierno. Por otro lado, la cocina con aislamiento alcanzó temperaturas máximas hasta de 80 °C en el aire y de alrededor de 64 °C en el agua de cocción. Las temperaturas del agua y del aire alcanzadas en las cocinas se compararon con mediciones de temperatura del agua situada en ollas testigo, una dentro de la vivienda detrás de una ventana con orientación norte, y otra situada en el exterior próxima a las cocinas. Esta comparación permite mostrar la ganancia de energía solar al utilizar la cocina respecto a la exposición solar directa del agua en ollas. Estas comparaciones se usarán como material de soporte educativo en talleres para autoconstrucción de cocinas solares. Al presente, no contamos con un radiómetro para comparar con los valores absolutos de la energía solar en función del tiempo.

Si bien se logró una ganancia de energía notable respecto de las condiciones exteriores, las temperaturas alcanzadas no fueron suficientes para cocinar alimentos. Sin embargo, en época invernal, los resultados demuestran el alto potencial del recurso solar térmico en la región para otros usos (por ejemplo, precalentamiento de agua sanitaria), siempre y cuando se adecuen los diseños a las condiciones de temperaturas exteriores y vientos característicos de la zona.

REFERENCIAS

- Esteves A., Gascón M. (2005). Transferencia de tecnología energéticamente eficiente para cocción de alimentos. Evaluación y perspectivas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 9, 10.05
- Filippín F., Iriarte A., Saravia L. (2006). Estudio comparativo de ollas en una cocina solar tipo caja. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 10, 3.15-3.20
- González A.D. (2003). Comparación de artefactos domésticos, recursos energéticos y costo relativo, para el calentamiento de agua destinado a cocción de alimentos. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 13, 27-36
- González A.D., Crivelli E., Gortari S. (2005). Uso racional de energía y conservación de bosques en la Patagonia Andina, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 9, 7.10-7.16
- González A.D., Crivelli E., Gortari S. (2006). Eficiencia en el uso del gas natural en viviendas unifamiliares de Bariloche. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 10, 7.01-7.08
- Grossi Gallegos H. (1998). Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. II. Cartas de Radiación. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 5, 33-42.
- Indec (2007). Instituto Nacional de Estadística y Censo. Encuesta permanente de hogares, www.indec.gov.ar
- Mercado M.V., Esteves A. (2004). Tecnologías para la conservación de energía en cocción de alimentos. Caja caliente para comedores comunitarios y/o escuelas rurales. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 8, 7.55-7.60
- Quiroga M.A., Saravia L.R. (2004). Evaluación del efecto de la variación del tamaño de una cocina solar del tipo caja, mediante un programa de simulación. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 8, 3.55-3.60
- Raichijk C., Grossi Gallegos H., Righini R. (2005). Evaluación de un método alternativo para la estimación de valores medios mensuales de irradiación solar en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 9, 11.05-11.08
- SMN, 2007. Servicio Meteorológico Nacional, www.meteofa.mil.ar

ABSTRACT: The north portion of the Patagonian Andean region presents high solar irradiation, though so far this renewable resource has not been extensively used. In order to promote the use of solar energy in the region we have built and study two prototypes of solar box-like cookers. Priority in the design has been given to construction simplicity and low cost, aiming at promoting its use in workshops for populations with disadvantages in conventional energy options. The two prototypes are basically identical except that one has been provided with inner insulation material and extra absorbing metal walls. The solar cookers were tested in the months of June and July in the city of Bariloche, under winter conditions. Inner air maximum temperatures were 81°C y 64°C, for the version with thermal insulation and non-insulation, respectively. The associated temperatures reached by 2 litre of water placed in the cookers reached values between 60°C y 48°C, respectively. To extend the range of applicability, comparisons under different ambient conditions demonstrated the convenience of providing thermal insulation.

Keywords: Solar energy – Cooking – Cold Patagonian climate