

## SISTEMA DE COCCIÓN SOLAR INTEGRADO A LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA: ESTUDIOS TÉRMICO, ERGONÓMICO Y DE IMPACTO SOCIOAMBIENTAL EN EL ARIDO SAN JUAN

**A. Buigues Nollens<sup>1,2</sup>, F. Rojas<sup>2</sup>**

Área de Energías Alternativas - Instituto de Mecánica Aplicada - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de San Juan  
 Av. Libertador General San Martín 1109 - O - C.P. 5400 - San Juan  
 Tel: 0264 - 4211700 - e-mail:abuigues@unsj.edu.ar

**RESUMEN:** Este trabajo tiene como objetivo, la integración sustentable de sistemas solares para cocción de alimentos en la vivienda bioclimática. La metodología consiste en un estudio ambiental, a través del análisis de modos de vida de sus usuarios, respecto al espacio cocina; la sustitución de materiales convencionales por otros alternativos, con menor impacto ambiental y una evaluación del impacto global de su implementación. Los resultados demuestran la necesidad de incorporar el uso de hornos solares, facilitando su control visual y del ambiente desde el interior. La utilización de materiales alternativos presenta similar comportamiento que en hornos convencionales. Finalmente el estudio de impacto realizado, para zonas aisladas de San Juan, demuestra que éstos son una posible solución tecnológica sustentable de mayor escala, por sus muy bajos costos de implementación, en relación a lo que cuesta eliminar el CO<sub>2</sub> del ambiente, evitando una importante tala de especies forestales en esta árida región.

**Palabras claves:** cocción solar, integración, vivienda bioclimática, ambiente árido.

### INTRODUCCIÓN

En 1994, la Argentina suscribió la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, ratificada en 1996 por el Congreso de la Nación, mediante el dictado de la Ley 24.701. La autoridad de aplicación en materia ambiental de dicha Ley, es la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, a través de la Dirección de Conservación del Suelo y Lucha contra la Desertificación. El Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación (PAN), indica que dentro de las zonas de deterioro (2002), se encuentra la Región de Cuyo con 20.000.000 de hectáreas, dentro la cual se encuentra la provincia de San Juan, en la que coexisten: extensas llanuras sujetas a sobrepastoreo con deforestación y áreas bajo riego con salinización, figura 1.

Según la Organización Mundial de la Salud (2009), la cocina atrapa un alto nivel de contaminantes en las viviendas y causa 1,6 millones de muertes prematuras cada año, principalmente a mujeres y niños. Dado que para cocinar y producir calefacción, utilizan combustibles biológicos tradicionales como madera y excrementos de animales. Por otro lado, el problema del agua contaminada, es de los más grandes. Se estima que un billón de personas, no tiene acceso a agua limpia.



Figura 1: Zonas deterioradas según grados de desertificación y zonas aisladas bajo estudio.

<sup>1</sup> Investigador Adjunto Consejo Nacional de Ciencia y Técnica – CONICET.

<sup>2</sup> Integrante del Programa Energías Alternativas - Instituto de Mecánica Aplicada – Facultad de Ingeniería - UNSJ.

Las enfermedades diarreicas que provienen del agua contaminada, provocan la muerte de 2 millones de niños y causan 900 episodios de enfermedad cada año.

A través del Proyecto PERMER (2006), la Secretaría de Energía de la Nación, ha realizado estudios sobre factibilidad del Abastecimiento Eléctrico de la Población Rural Dispersa, con energías renovables en la Provincia de San Juan, seleccionando un mercado con déficit energético, de 418 viviendas aisladas, a ser abastecidas por medios no convencionales, para los diferentes usos domésticos y productivos, figura 1, incluyendo un estudio económico – financiero y tarifario. Cabe mencionar que en la actualidad, no se tienen antecedentes de estudios, que consideren en la región árida de esta provincia, el uso de sistemas alternativos de preparación y cocción de alimentos, aprovechando la energía solar.

Dado que el perfil sectorial de esta región desértica, demuestra déficit ambiental, con: desertificación, erosión, disminución de áreas protegidas y cambio climático, por tala indiscriminada de árboles y arbustos, con tendencia desfavorable de pérdida de biodiversidad; a través de este trabajo, se busca limitar la extracción de especies forestales y arbustos, con el objetivo de contribuir a reducir la creciente presión sectorial regional, generada por los pobladores de estas zonas, que viven con economías de subsistencia, producida por: su forma de alimentación, calefacción y realización de microemprendimientos productivos.

### PROPUESTA

Por lo tanto, se plantea producir una transformación de modos de vida y cambio cultural, mediante la aplicación de Programas de Desarrollo Rural, bajo un proceso que se retroalimenta dentro de los siguientes límites y alcances, figura 2:

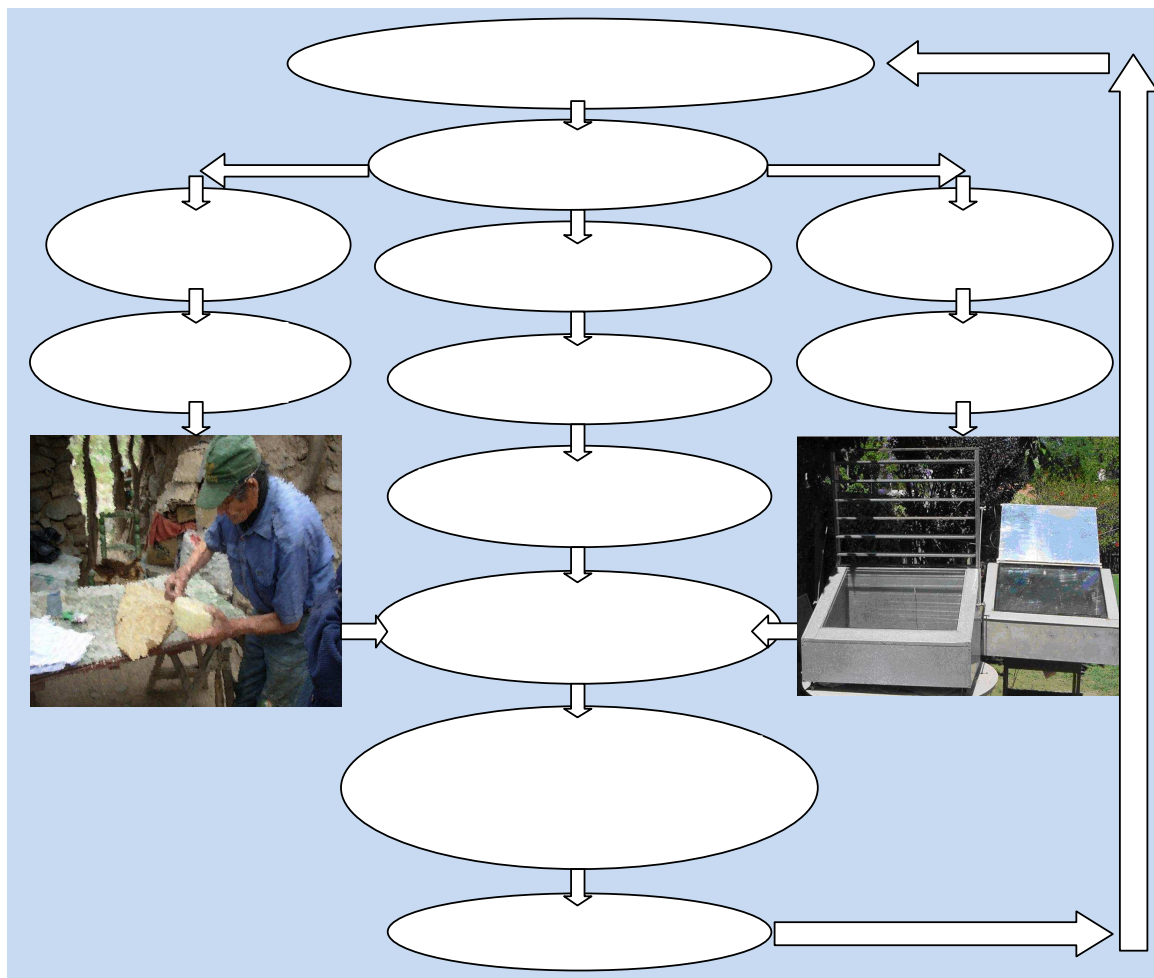


Figura 2: Límites y Alcances

Y se propone como labores para esta etapa:

- Análisis de aspectos culturales y modos de vida de sus usuarios, respecto al ámbito de cocción de alimentos.
- Propuesta de innovación del sistema de cocción y preparación de alimentos desde el interior de la Vivienda Bioclimática.

Dejando explícito, que se tratará con mayor profundidad en el presente trabajo, el comportamiento térmico de:

- Diferentes HS considerando la sustitución de materiales convencionales por alternativos de bajo impacto ambiental
- El Estudio Ergonómico del Sistema y la Evaluación del Impacto Socio Ambiental para zonas aisladas del Árido San Juan.

*Análisis de aspectos culturales y modos de vida de sus usuarios, respecto al ámbito de cocción de alimentos.*

En zonas alejadas y aisladas del Árido San Juan, las costumbres y modos de vida utilizados en hogares conformados por cónyuges hasta nietos (Familias con prole), llevan a deprender el recurso leña de especies forestales del lugar, incluyendo la extracción de trabas de parrales, tanto para calefaccionar ambientes interiores, como para calentar y cocinar su alimentación.

Con estas necesidades, la calidad de vida y la salud de los pobladores de estas regiones se ve afectada, al tener que convivir permanentemente con la contaminación ambiental dentro de las viviendas, por falta de una adecuada extracción del aire polucionado, dada las emanaciones de humo y gases, que producen cocinas fogones u hogares en interiores, lo que provoca severos problemas de salud, que impactan directamente en la vida de las familias. Comúnmente las emanaciones se observan pegadas a techo, paredes interiores y también permanentemente al ser inhaladas se adhieren a los pulmones de sus usuarios, figura 3.

*Propuesta de innovación del sistema de cocción y preparación de alimentos desde el interior.*

El uso del Horno Solar (HS), constituye una excelente alternativa de solución para evitar los problemas mencionados y su utilización, se encuentra vinculada al desarrollo de la cocción y preparación de alimentos, con exposición del horno al ambiente exterior.

Por lo tanto, además de las limitaciones propias del HS (Nandwani, 2004), es necesario considerar para el árido San Juan, también la exposición de las personas cuando realizan las cocciones, a la radiación solar directa y al clima exterior en horas pico, especialmente durante periodos climáticos con: baja humedad relativa, temperatura máxima extrema o repentinos fuertes vientos locales (Zonda o Sur).



*Figura 3: Vistas de cocinas fogones y hogares a leña, de viviendas localizadas en Bauchazeta, Iglesia – San Juan.*

También, cabe considerar la producción de peligros e inseguridad, cuando el cocinero realiza su desplazamiento, por lugares donde el suelo presenta escalones o pendientes, portando utensilios, distintos elementos para realizar la preparación de alimentos o con el HS. Cabe reflexionar entonces, si a todas las personas: su salud o cuando utilizan el HS y los utensilios con alimentos, en un ambiente como el descrito, les permite una:

- ¿Locomoción y transporte fácil o seguro, sobre pisos circundantes con desniveles?
- ¿Operación con comodidad, sobre el piso exterior, o sobre una simple mesa de apoyo, alejada de la cocina?
- ¿Permanecer sin ninguna protección y resguardo en un ambiente de Zona Árida con rigurosidad climática?

Evidentemente en estas zonas, con el uso de HS en forma independiente de la Vivienda, se ampliarían las limitaciones o contribuiría a impedir sus prestaciones y por esto tradicionalmente, a pesar de la contaminación que producen, utilizan cocinas fogones u hogares a leña, en el interior de sus viviendas

Por otro lado, la Arquitectura Bioclimática, dado que es concebida en base a respuestas de adaptación de la Arquitectura Tradicional al clima local, se le aplican tecnologías para alcanzar los necesarios niveles de comodidad, según las características regionales, destinadas a la iluminación natural por sistemas fotovoltaicos o eólicos, agua caliente solar, calefacción solar, conservación energética, refrescamiento natural, produciendo ahorro energético y confort ambiental.

*Sustitución de materiales convencionales por otros de menor impacto ambiental*

Además y con el fin de producir el menor impacto ambiental, se ha realizado un estudio comparativo, entre dos tipos de hornos con cubierta inclinada, los cuales se diferencian en su diseño constructivo, por los siguientes componentes dispuestos de afuera hacia adentro, como sigue:

- HS con Pomeca, figuras 4 y 5.
- Caja externa, construida con recortes de madera de fibra media (MDF), cubierta con rezagos de chapa galvanizada N° 25 recortada a mano y marcos estructurados de caña coligüe (FADU - UBA, 2004).
- Cubierta transparente con DVH, realizado con doble vidrio de 4mm + 3 mm y cámara de aire de 9 mm.
- Aislante térmico, con rechazos de piedra pómez, denominada pomeca puzolánica suelta, en un espesor de 3”.

Caja interna, construida de recortes con madera de fibra media (MDF), cubierta en el fondo con una placa interior negra, captadora de la radiación solar, de recortes de chapa negra DD N°25 y paredes laterales con papel de aluminio reflectivo autoadhesivo.

- HS con Lana de Vidrio (Buigues Nollens y Rojos, 2006 y 2008).

Caja externa, construida de chapa galvanizada N° 20 doblada.

Cubierta transparente con DVH, realizada con doble vidrio de 4mm + 4 mm y cámara de aire de 4 mm.

Aislante térmico de lana de vidrio en un espesor de 3" (Jacobo y Vedoya, 2003).

Caja interna, construida de chapa galvanizada N° 20 doblada, cubierta en el fondo con placa captadora interior negra, de chapa negra DD N° 20 y paredes laterales con papel de aluminio reflectivo autoadhesivo.



Figura 4: Ejecución de caja interior. Relleno de frente lateral con pomeca puzolánica y colocación de cubiertas captadoras y reflectivas.



Figura 5: Ejecución de caja exterior. Colocación de protección hidrófuga. Ensamble de tapa con cubierta reflectiva y de subcomponentes laterales.

#### Resultados Experimentales

El comportamiento térmico de los HS, puede ser representado por figuras de mérito, los resultados de estas, permiten la ejecución de comparaciones entre diferentes tipos de hornos. Así, las mencionadas figuras de mérito, que son obtenidas a través de la realización de ensayos experimentales, permitirán mejorar el diseño del HS a elegir y así poder brindar una mayor utilidad.

La primera figura de mérito, F1 (Mullick, 1987), tiene en cuenta la relación de eficiencia óptica de ambos hornos y las pérdidas de calor al exterior, desde la respectivas placas absorbedoras de la energía solar. Los valores registrados durante los ensayos, para obtener la primera figura de mérito F1 (1), fueron obtenidos en forma simultánea, del interior de cada HS y de la temperatura ambiente, con una radiación global sobre plano horizontal del orden de los 800 W/m<sup>2</sup>, resultando, figura 6:

$$F1 = \eta_0 / UL = A_p (T_p - T_a) / A_v I_v \quad (1)$$

El valor de F1, para el horno con pomeca fue de:

$$F1 = 0.12^\circ\text{C m}^2 / \text{W}$$

Donde la nomenclatura utilizada es:

$\eta_0$  = eficiencia óptica

UL = coeficiente de pérdidas

$A_p$  = área de placa absorbente

$A_v$  = área de superficie transparente

$I_v$  = radiación solar sobre superficie transparente

$T_p$  = Temperatura de la placa

$T_a$  = Temperatura ambiente

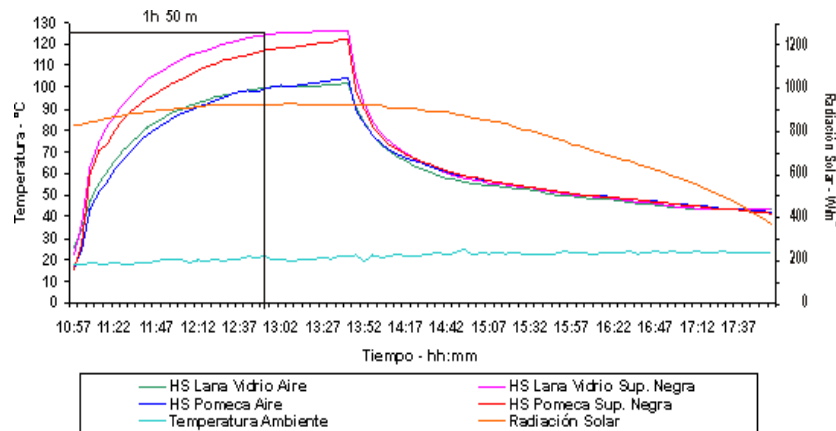


Figura 6: Mediciones realizadas de ambos HS, para obtener las primeras figuras de mérito F1, según RICSA.

Durante los ensayos para la obtener F1, según la Red Iberoamericana de Cocinas Solares - RICSAs (Castell, 1999), figura 6, se verificó que el HS con Pomeca, alcanzó alrededor del mediodía, en 44 minutos los 98 °C (temperatura de ebullición del agua) y el HS con lana de vidrio, lo realizó en 37 minutos y luego en este último, durante la etapa de calentamiento, se alcanzó los 120°C, a los 100 min (1h 40) y 130°C (máxima temperatura), a los 110 minutos.

Cabe mencionar, que durante otro ensayo y para comprobar cual era el comportamiento del HS con pomeca, utilizando la superficie reflectiva superior, se interrumpió el protocolo del ensayo durante la etapa de enfriamiento con horno tapado, y a las 14:48 hs, alcanzó una temperatura superior, del orden de los 130°C, superando la temperatura del HS con lana de vidrio.

#### Estudio Ergonómico

La propuesta de diseño, introduce además de innovaciones vinculadas a la Vivienda Bioclimática para Regiones Áridas, al brindar respuestas a las consideraciones orgánicas y ambientales descriptas, mediante el diseño y ubicación del espacio cocina en la dirección norte; también lo hace al plantear como respuesta, la consideración de la población usuaria y sus datos antropométricos, mediante la disposición de un sistema constituido por una abertura, con ventanas a diferentes alturas adaptable al control funcional del H S y del clima, desde el interior (Buigues Nollens y Rojos, 2006), figura 7.

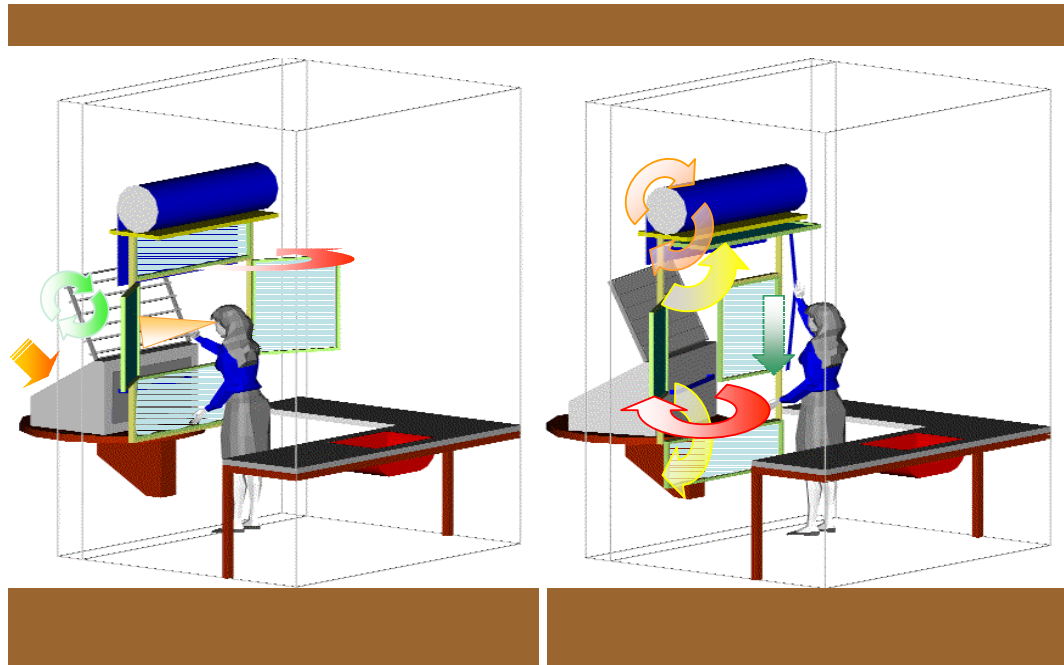


Figura 7: Funcionamiento del sistema de cocción de alimentos desde el interior de la vivienda.

#### Resultados obtenidos considerando el usuario sobre Salud, Economía y Ambiente

Atendiendo el usuario en relación a la Ergonomía Preventiva (Mondelo P. et al, 2003) y luego de la construcción del sistema de cocción solar, constituido por el módulo HS - Abertura vinculado a la Vivienda Bioclimática, fueron obtenidos a través de diferentes ensayos de coordinación antropométrica y funcional del sistema propuesto, los siguientes resultados, figuras 8 y 9:

Con relación al:	Respuestas del Sistema Propuesto (C) Cocinero - (P) Procesamiento de Alimentos (E) Ambiente Exterior - (I) Ambiente Interior	Resultados en Salud, Economía y Ambiente
(C) (E)	Preparaciones de alimentos con calor a la sombra en horas pico	Máximo Control Interior del Refrescamiento y Calefacción
(C) (E)	Preparaciones de alimentos aislado de cambios climáticos	Máximo Control Interior a Infiltraciones y del Acondicionamiento Natural del aire
(P) (I)	Recorrido sobre mesada	Mayor Seguridad y Mayor control de Posturas Incorrectas
(C) (P) (I)	Recorrido Frío y Caliente Corto	Mayor Eficiencia Doméstica
(P) (I)	Cocción y Horneado Adecuado	Mínima Pérdida de Calor
(C) (I)	Producción de olores, vapores	Mayor Control Interior de la Ventilación

Figura 8. Síntesis de Respuestas y Resultados obtenidos para el usuario.



Figura 9: Ensayos de coordinación antropométrica y funcional del sistema propuesto en relación a la vivienda.

*Análisis de Costos entre HS y de Impacto Ambiental*

Del análisis de costos realizado, es posible observar que se establece a nivel general una diferencia del orden del 30% entre el HS tipo caja realizado con materiales durables con Pomeca Puzolánica Suelta respecto al HS con Lana de Vidrio, Tabla 1. Esto representa una diferencia de costo total entre ambos materiales aislantes de 1,95 % por cada horno.

Tipo y Características	Denominación	Parcial UM (*)	
Hornos tipo caja con materiales durables	Con Pomeca (**)		111,33
	Con Lana de Vidrio (**)	167	
	Doble Vidrio Hermético	34	34
	Total UM (*)	201	145,33

Referencia: (\*) Equivalencias: 1 Unidad Monetaria (UM) = 1 Dólar (US\$) = 3,65 Pesos Argentinos (\$)

(\*\*) Diferencia de 3,92 UM entre el costo/m<sup>2</sup> de la Aislación Lana de Vidrio y la Pomeca Puzolánica Suelta.

Tabla 1: Análisis de Costos entre HS.

El impacto ambiental estimado que tendría la sustitución de la leña, por energía solar, es de 5200 árboles que se evitarán talar por año, evitando un consumo de leña de 1560 Ton/año, siempre y cuando, sean integrados a nivel de Programas de Desarrollo. Considerando, que las 418 familias de estas zonas aisladas y alejadas del la Provincia de San Juan, PERMER (2006), Tabla 2, valoran los aportes, a la salud, alimentación, calefacción natural y potenciales aplicaciones a nivel de microemprendimientos productivos, del sistema de cocción solar ensayado y lo adopten convenientemente a nivel de sus costumbres y modos de vida regional. Lo que representa un ahorro del orden de US\$ 330.000 y de entre 3 a 6 horas diarias, de acuerdo a la distancia de extracción a recorrer (aprox.10 km), desde las viviendas a las ubicación promedio de las especies forestales. Estimando que un 30% la compra (de \$327600 a \$374400) y solo un 70% la depreda o sustrae, tenemos:

Familia	Consumo kg/mes	Costo Leña \$/Kg (Algarrobo(*) y Quebracho)	Consumo Ton/año	Costo Leña /Año	Árboles Sin Talar 1Arbol 0,3 Tn leña (*)	Limpieza de CO2 (*)
1	(10Kg/dia) 310	0.70 (*) y 0.80		<b>Ahorro</b>		
418	130.000	91.000 a 104.000	1560	\$1.092.000 a \$1.248.000 US\$ 331.000	<b>5200</b>	<u>2854 Tn/Año</u>

Referencia (\*): 1ton. Quemada de leña=1,83 ton de CO<sub>2</sub> (Torres Muro y Otros, 2008).

Tabla 2: Análisis de Impacto Social y Ambiental.

En consecuencia considerando 418 cocinas que no contaminan o de lo contrario es necesario limpiar 2854 T/año de CO<sub>2</sub>

$$2854 \text{ T/año de CO}_2 \times \text{US\$}100/\text{Ton CO}_2 \text{ P/Limpiar (Nandwani, 2004)} = \text{US\$} 285400$$

Lo que representa US\$ 285.400 y según los prototipos desarrollados el costo de los 418 HS durables, resulta del orden 1/3 de lo que cuesta limpiar el CO<sub>2</sub>.

## CONCLUSIONES

Esta tecnología sustentable, está destinada a poblaciones con escasos recursos económicos y energéticos, permitiendo satisfacer necesidades de preparación o cocción de alimentos saludables a diario y se encuentra dirigida, a incrementar el conocimiento en relación a su diseño energético y constructivo, contribuyendo a preservar y mantener limpio el ambiente, al evitar la tala indiscriminada de árboles y arbustos e integrar la utilización de la energía solar, con la reutilización y empleo de materiales de recortes o rezagos nuevos y viejos, junto a rechazos provenientes de la industria de la construcción y el agro.

Como conocimiento, facilita el acceso a emprendimientos socioeconómicos de pequeña escala, ya que es posible construir el HS, utilizando herramientas comunes y equipamiento con mano de obra de nivel artesanal, no específico, con costos de producción reducidos. Y a nivel de mercado puede ser utilizado y demandado además de la cocción u horneado de alimentos domésticos, para la producción de panes, dulces, miel, separación de ceras como la del retamo, entre otras.

El diseño constructivo del HS inclinado, según la latitud del lugar, presenta una adecuada figura de mérito, comparándolas con ensayos similares a nivel regional según la época del año. Los ensayos experimentales, que se realizan desde hace 4 años en el ambiente exterior, de una zona árida con clima riguroso de alto nivel de radiación solar y amplitud térmica, demostraron adecuada funcionalidad, durabilidad e inalterabilidad en relación a la cubierta exterior de chapa galvanizada.

En una región desértica, es dentro de la Vivienda Bioclimática donde deben ser contemplados el desarrollo de los modos de vida tradicionales, y considerar la preparación de alimentos, con manejo, control visual del HS y del necesario clima interior.

Por lo tanto, la propuesta de diseño de un sencillo sistema de cocción solar, contiene la posibilidad de convertirse en una solución social útil de mayor escala, siempre y cuando tanto sus potencialidades como aportes, sean interpretados, valorados y adoptados convenientemente a nivel regional o local, como herramienta de desarrollo socioeconómico.

## REFERENCIAS

- Aalfs M. (1994). Principles of Solar Box Cooker Design, Solar Box Cooker Northwest, Seattle, USA.
- FADU – UBA. (2004). Guadua Recurso Sustentable, Una Mirada de Gestión Estratégica del Diseño – Cátedra: Metodología de la Investigación, Buenos Aires, Argentina.
- Buigues Nollens A. F. y Rojas E.O. (2006). Environmental Responses and Anthropometrics Results of a Solar Oven for Arid Areas, VI Solar Cookers And Food Processing International Conference, Granada, España.
- Buigues Nollens A. y Rojas E. (2008). Horno Solar Mixto para Escuelas Alejadas en Zonas Áridas, NOCMAT 2008, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Castell M. E de y Otros. (1999). Propuestas de Procedimiento para la Evaluación del Comportamiento Térmico de Cocinas Solares y Hornos Solares, ASADES, Tucumán - Argentina.
- Jacobo, G J. y Vedoya, D. E. (2003). Hábitat Humano, Medio Ambiente y Energía., Análisis de consumo energético con valoración ecológico-toxicológica de rubros constructivos, ITDAHU – FAU - UNNE, Resistencia, Argentina.
- Mondelo P. et al. (2003). Ergonomía 1, Alfaomega , pp. 61-64 Edicions UPC. Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- Nandwani S. (2004). Cocina - Horno Solar. Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.
- PERMER. Secretaría de Energía de la Nación. (2006). Estudios sobre factibilidad del Abastecimiento Eléctrico de la Población Rural Dispersa con energías renovables en San Juan [http://energiamecon.gov.ar/permer/san\\_juan.pdf](http://energiamecon.gov.ar/permer/san_juan.pdf).
- Torres Muro H. y Otros. (2008). Perspectiva Ambiental de la Cocinas Solares en la Zona Alto Andina.

## ABSTRACT

The object of this paper is to achieve a sustained integration of solar systems to cooking in bioclimatic houses. The methodology consists of an environmental analysis, which studies the way of living of its users concerning the cooking space, the substitution of the conventional materials for others of less environmental impact and an evaluation of the global implementation impact. The results show the need to incorporate the use of solar ovens, facilitating the visual control of the oven and of the environment, from inside. The use of alternative materials present a similar behaviour to that of the conventional ovens. Finally the environmental study carried out in isolated areas of San Juan proves that this is a possible sustained technological solution of a higher scale, due to very low costs of implementation, in relation to the cost of eliminating CO2 from the environment, preventing an important logging of tree species in this arid region.

**Key words:** solar cooking, integration, bioclimatic houses, arid environment.