

# ARTÍCULO

## **COCEDORES SOLARES**

*Jesús Antonio del Río Portilla , Saúl Tapia Salinas y Oscar Alfredo Jaramillo Salgado*

*Centro de Investigación en Energía,  
Universidad Nacional Autónoma de México*



## Cocedores Solares

### Resumen

En este trabajo se presentan algunas ideas sobre las limitaciones que han tenido los hornos o las estufas solares para su utilización en gran escala. Se propone una solución a través de un dispositivo híbrido, los cocedores solares automatizados. Se esquematiza un modelo termodinámico para describir la evolución de la temperatura en el interior del cocedor. Así como se presentan los resultados de la evaluación de indicadores de sabor, color, textura, olor y apariencia (las características organolépticas) de la comida preparada en un cocedor solar. Los resultados indican que la comida solar posee características similares a la preparada por métodos tradicionales en esta época.

**Palabras clave:** Horno solar, estufa solar, cocedor solar., desarrollo sustentable, sabor comida solar

### Abstract

In this paper we present some ideas about the reasons why the solar ovens or solar cookers are not widely used. We propose a solution using a hybrid automatized device: "cocedor solar". We design a thermodynamic model to describe the temperature evolution inside the cocedor. Also we present results on the taste, color, texture, smell and look (organoleptic characteristics) of meals prepared in a "cocedor solar". These results indicate that solar food is similar to food prepared in a standard way.

**Keywords:** solar oven, solar cooker, sustainable development, solar food flavor.

### A manera de motivación

Una de las aplicaciones de la energía solar más sencilla es en la cocción de alimentos. Sin embargo, estimado lector, ¿conoces alguna marca de estufa u horno solar? Estamos seguros que puedes mencionar dos o más marcas de estufas convencionales, de gas o eléctricas. La razón es que los hornos o estufas solares no han sido ampliamente aceptados en la actualidad a pesar que el uso de la energía solar para calentar, evaporar o secar alimentos, ropa, etcétera, es una actividad que se ha realizado cotidianamente desde la prehistoria. Se reconoce que la cocción de alimentos inició con el descubrimiento del fuego y todas las culturas del mundo antiguo cocinaron alimentos desde hace miles de años. Por supuesto, esto se debió a los beneficios en sabor y conservación de los alimentos cocinados con respecto a los alimentos crudos, sobre todo las carnes de los animales. Con estos antecedentes no es sorprendente saber que ya en el año 1650 se usaba la energía solar para cocción de alimentos (Muthusivagami, et al. 2010). Si, ya desde aquel entonces se conocía este uso de la energía solar, surge inmediatamente la pregunta: ¿por qué no se continuaron desarrollando los hornos solares y su uso se extendió? La respuesta involucra muchos de los aspectos como la variabilidad de la irradiancia solar, con respecto al carbón o leña que proporcionan una fuente continua de calor. El uso masivo de las estufas de gas se debe a la alta densidad energética de los hidrocarburos, en particular del gas y del petróleo que a principios del siglo XX se convirtieron en la principal fuente de energía. Esta alta densidad energética y disponibilidad es lo que promueve el uso de los combustibles fósiles y por tanto desfavorece el uso de la energía solar.

Debemos enfatizar que los primeros modelos de hornos solares fueron diseñados de forma práctica y probados experimentalmente con un relativo éxito, ya que no se pretendía cumplir con las necesidades del día a día. De hecho se realizaron pocos esfuerzos por comprender a fondo la teoría del comportamiento térmico de los hornos solares. Aunque encontramos en la literatura diferentes metodologías para evaluarlos no han sido realizados análisis cuidadosos del comportamiento térmico para lograr efectividad en la cocción de alimentos con el uso de la energía solar. La corriente ambientalista ingenua, de los años sesenta y setenta del siglo pasado, proponía el uso de los hornos solares en comunidades pobres o en comunidades aisladas, por esta razón se dirigieron los esfuerzos en el desarrollo de hornos solares buscando su durabilidad y el bajo costo, más que un entendimiento profundo de su comportamiento térmico. La propuesta de que la opción solar se usara en comunidades pobres no es una alternativa real, ya que los hornos solares tienen claras desventajas.

Aunque las ventajas son evidentes: no utilizan combustibles, ni electricidad, no contamina con gases nocivos, no afectan al balance térmico del planeta; las desventajas son graves: no funciona cuando hay nubes, ni en días lluviosos, el tiempo de cocción es largo en la mayoría de los casos comparado con las cocinas tradicionales, requieren de trabajo de orientación continuo, y se tiene que cocinar, generalmente, fuera de la cocina, sin olvidar que el horario de comidas no podría ser fijo y dependería de las condiciones climáticas de cada día.

Claramente estas desventajas limitan y desaniman su uso. Estas desventajas son las que hacen que los hornos solares no sean usados diariamente, y por lo tanto, no son una opción de uso real. Por estas razones se requiere de hacer propuestas de diseño que funcionen todos los días.

Dado que uno de los problemas es la necesidad de orientar los hornos durante el día y cada día del año, en el Centro de Investigación en Energía se propuso un horno solar tipo caja de dos posiciones (Jaramillo et al. 2007). Estas dos posiciones permiten que con cuatro movimientos durante el año, en los solsticios y equinoccios, se consiga que los rayos del Sol siempre entren en el horno. En este horno solar para la región intertropical (la región de la tierra comprendida entre los trópicos de Cáncer y Capricornio que incluye el Ecuador) se realizó experimentación en cocciones de diferentes alimentos. Los resultados fueron exitosos, logrando cocinar caldos de pollo y pescado entre otros muchos guisos, mostrando una vez más que la cocción de alimentos con energía solar es factible. Sin embargo un día falló; el día que se había escogido con mayor cuidado, con base en estadísticas de varios años, como el de menor probabilidad de nublados, un día de enero se nubló, y por lo tanto, la comida no se coció. En ese momento, los autores de este trabajo decidimos estudiar el comportamiento a detalle de los hornos solares y diseñar un dispositivo híbrido, solar eléctrico para la cocción eficaz de alimentos.

## **Cocedor solar**

Por las razones anteriores se decidió diseñar un dispositivo que cocinara los alimentos eliminando la mayoría de las desventajas que hemos señalados de los hornos solares. Se buscó que fuera fácilmente orientable, que requiriera la mínima participación de las personas durante el asoleamiento, que el cocimiento fuera lento y a la temperatura más adecuada para la cocción que resulta entre 90 y 95°C (Promeyat et al. 2010), y principalmente que cociera los alimentos todos los días del año.

Fue así como se concibió el cocedor solar, un dispositivo que usa la mayor energía solar disponible, pero que en caso de no haber suficiente irradiación solar usa energía eléctrica para

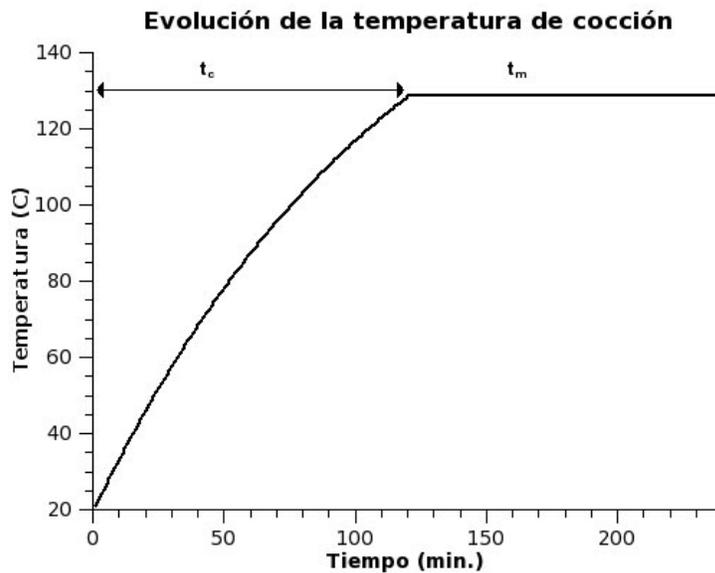
elevar la temperatura del interior de la cámara de cocción y llevar a buen término la cocción de los alimentos. Por supuesto que la solución podría involucrar algún otro tipo de fuente de energía diferente a la eléctrica, digamos gas o etanol, entre otros. En el diseño del cocedor se consideró una base semicilíndrica, como se ve en la figura 1, que puede rotar. Si se orienta el eje del cilindro en la dirección Este-Oeste se puede rodar el cilindro y colocarlo de tal forma que ese día los rayos del Sol incidan lo más perpendicular posible a la cara con cubierta transparente del cocedor. Con esto se facilita la orientación. Además, se incorpora un sistema de control compuesto por un termómetro, que mide la temperatura del interior del cocedor, y que acoplado a un controlador activa resistencias eléctricas, similares a las de las parrillas eléctricas, en caso de que la temperatura no sea la adecuada para la cocción de alimentos. Con esto último resolvemos varias desventajas, primero sabemos que en días nublados las resistencias eléctricas calentarán la comida hasta el punto de cocimiento, segundo, la intervención de la persona encargada del cocimiento de la comida se reduce a tres actividades: introducir los alimentos al cocedor, encender el control automático, y posteriormente para un tiempo prefijado retirar la comida ya lista para servirse.



**Figura 1. Cocedor solar, se observan las ollas pintadas de negro.**

Si bien esto parece muy sencillo requiere que expliquemos el funcionamiento del cocedor solar. Los cocedores solares se integran por dos elementos fundamentales, un concentrador de energía solar y una cámara aislada térmicamente. El concentrador, compuesto por los espejos, incrementa la densidad de energía solar irradiada sobre el vidrio captador del flujo de rayos. La cámara recibe el flujo concentrado de rayos que entran a través del vidrio de la cámara. El vidrio de la cámara tiene tres funciones: la primera, permitir la entrada del flujo luminoso a la cámara de cocción del cocedor; la segunda, evitar la salida del flujo radiativo, en el rango del infrarrojo, de las ollas ya calientes y la tercera evitar la salida del aire caliente de la cámara de cocción, este efecto es similar al efecto “invernadero”, las paredes aíslan a las ollas del exterior y dado que la energía que entra es mayor a la que se disipa, la temperatura de los elementos de la cámara de cocción se incrementa. La energía que se retiene en la cámara de cocción deber incrementarse, de tal manera que se pueda lograr el cocimiento de los alimentos en un tiempo adecuado.

En la cocción de los alimentos es muy importante la forma en que se consigue incrementar la temperatura. Una forma sencilla de evolución de la temperatura se muestra en la figura 2, donde la temperatura inicia a la temperatura ambiente al tiempo  $t_i=0$  s. Conforme la energía concentrada es absorbida en la cámara, la energía interna de los elementos de la cámara, incluyendo a la olla con los alimentos aumenta, con lo cual se incrementa la temperatura, esto en la gráfica se muestra con la curva de temperatura para tiempos con  $t > t_i$ . Después, el proceso continúa hasta alcanzar el tiempo  $t_c$ , donde los alimentos empiezan a cocerse dentro de la olla, a esta temperatura de cocimiento que debe darse en todas las partes del alimento. Para que el alimento se cueza es necesario que la temperatura se mantenga, si la temperatura aumenta demasiado los alimentos pueden perder sus propiedades nutritivas, por eso es importante no elevar mucho la temperatura de cocimiento.



**Figura 2. Proceso de cocción. Donde se parte de una temperatura inicial  $T_i$  de 20 °C y llega a una temperatura de maduración de 130 °C  $t_c$  es el tiempo de calentamiento del caldo,  $t_m$  es el tiempo de maduración de los alimentos.**

En la cocción de alimentos generalmente la temperatura se regula de acuerdo con el proceso de cocimiento, en agua la temperatura de cocción es del orden de los 100°C, en aceite es algo mayor a 150°C. La energía necesaria para elevar la temperatura se obtiene generalmente de combustibles fósiles o de energía eléctrica. En el cocedor la energía del Sol sustituye al combustible de la cocción convencional, y el proceso de cocción es similar. Dado que el cocedor usa ollas cerradas, se usa fundamentalmente en caldos o procesos de calentamiento basados en agua, así el punto de ebullición del agua funciona como regulador de temperatura pues ésta no aumentará en el cambio de fase, por tanto, al observar el inicio de la ebullición, se sabe que los alimentos han alcanzado 100°C, y se cuenta un tiempo de maduración  $t_m$ , para que los alimentos se cuezan uniformemente. Durante la maduración el cocinero trata de lograr que los alimentos dentro de la olla logren una temperatura lo más homogénea posible, y se logre la cocción completa de los alimentos. Al finalizar el tiempo  $t_m$ , la cocción se da por finalizada.

Aunque la curva es de aplicación general podemos definir dos tipos de cocimiento el rápido y el lento, es decir cuando deseamos elevar la temperatura rápidamente y digamos  $t_c$  es pequeño, unos minutos o cuando deseamos un cocimiento lento, digamos  $t_c=120$  min. para alcanzar una temperatura de 120 °C, como en la figura 2. En nuestra experiencia, la cocción lenta cuece las

carnes sin endurecerlas y terminan con una textura suave y jugosa, por lo que éstas son fáciles de cortar y de masticar, y las verduras no pierden su integridad, este es el tipo de cocina de “la abuela” un cocimiento lento que permite acentuar los sabores.

Debemos enfatizar que aunque los hornos y cocedores solares son fundamentalmente de cocimiento lento, se puede con ayuda del respaldo eléctrico hacer cocimientos relativamente rápidos al fijar tiempos cortos en el control de temperatura. Cuando se pretenden las mejores características del proceso de cocción de los alimentos, se puede decir que un buen cocedor solar es aquel que cuece los alimentos con el modo de cocción lenta.

Con esta forma de ver el cocimiento se diseñó un cocedor que lograr cocer la comida en un tiempo adecuado para el sabor, y dado que no requiere que las personas estén bajo los rayos del Sol durante la cocción, se adecuó el cocedor para un tiempo de maduración del orden de las dos horas.

Los resultados de simulación de temperatura anteriores indican que el modelo de una sola temperatura, que desarrollamos para describir globalmente la temperatura del cocedor solar es razonable. Sin embargo, sabemos que en el interior de la cámara de cocción la temperatura es diferente en diferentes lugares, es decir, existe un campo de temperaturas y que aunque la temperatura que medimos con el termopar parece ser representativa no describe los detalles y para algunas aplicaciones en otros ámbitos estas diferencias pueden ser importantes. Para ello, recientemente, se está utilizando una cámara infrarojo que nos indica la temperatura de los objetos que enfoca.

En el video 1 se muestra el exterior del cocedor en formato normal, después en el centro del campo visual se presenta la imagen en infrarojo con colores falsos, pero que representan las temperaturas de las diferentes superficies. La escala de la derecha indica la temperatura de acuerdo al color. En la tercera toma toda la pantalla muestra las temperaturas de las diferentes superficies

En el siguientes video (2) se muestra que aunque la tapa del cocedor está abierta, y la hemos cubierto con franelas del Sol, las temperatura todavía se mantiene en el rango de cocimiento. Los resultados cualitativos con este nuevo dispositivo serán presentados en el futuro cercano.

En resumen, el cocedor solar se puede cocinar alimentos como, caldo de res, carne de puerco en chile pasilla, consomé de carne de res, pescado, incluso alimentos que convencionalmente requieren largos periodos de cocción como pozole, lentejas, frijoles, entre otros muchos. En la figura 3, se muestra una comida cocinada en el cocedor solar del CIE-UNAM. La pregunta ahora es ¿a qué sabe esa comida preparada en el cocedor solar?



(A)



(B)



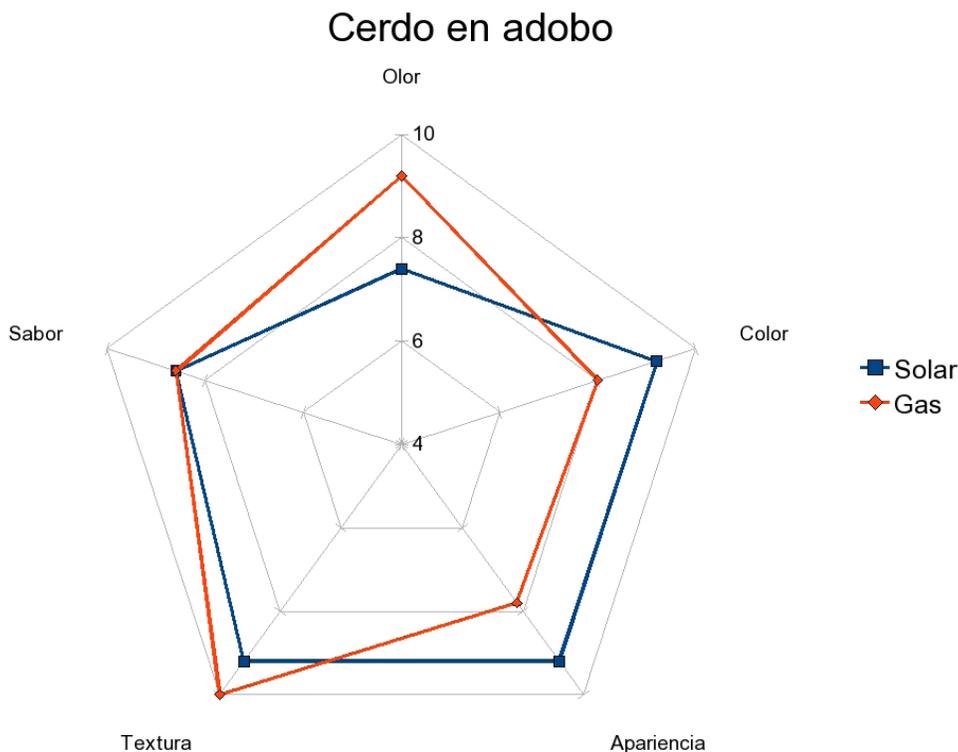
(C)

**Figura 3. Diferentes guisos cocinados en el cocedor solar: a) tamales, b) clemole de pollo y c) lentejas.**

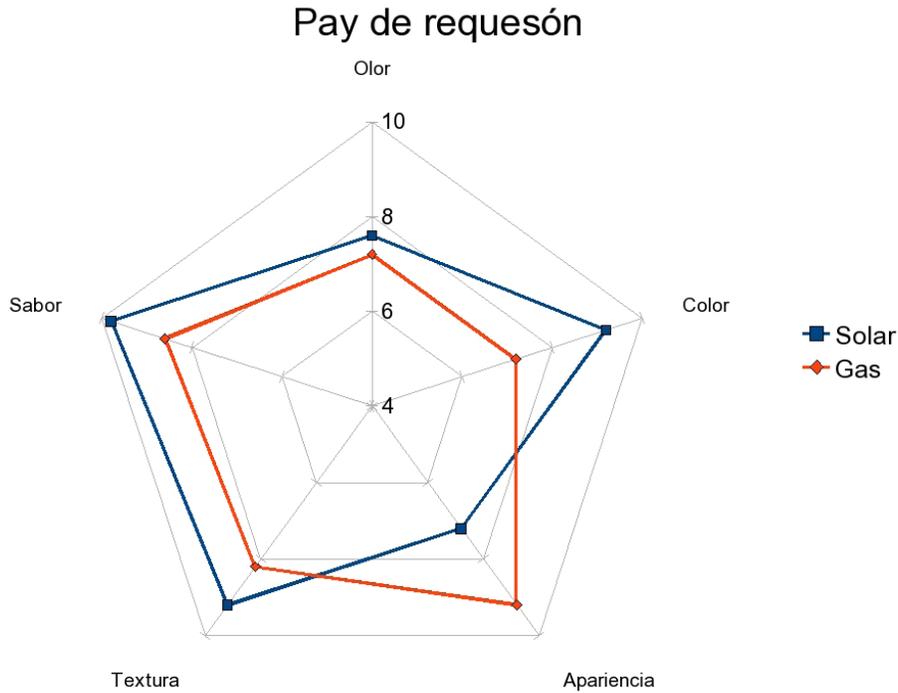
## El sabor de la comida solar

En colaboración con profesores y alumnos del CONALEP de Temixco Morelos, se evaluaron las características organolépticas de la comida solar para un mismo guiso cocinado tradicionalmente y en el cocedor solar (Ayala et al. 2009). Con este proceso se evaluaron más de veinte recetas entre sopas, guisados y dulces. Los resultados muestran que no existe diferencia significativa en los sabores, olores, colores, textura y apariencia (éstas son las características organolépticas de los alimentos) en el cocimiento tradicional (gas) con respecto al cocimiento solar, no obstante algunos guisos solares les gustan más a los comensales, aunque otras apariencias no les agradan tanto, etc. (para más detalles ver la referencia). Es importante mencionar que todos los guisos fueron evaluados positivamente en una escala del 1 al 5, en escala de 1 a 10 siempre obtuvieron calificaciones superiores al 7.

En la figura 4 se observa la comparación de las características organolépticas del cerdo en adobo cocinado en el cocedor o en una estufa de gas. Claramente el olor del guiso preparado en la tradicional estufa de gas recibió una mejor evaluación, en cambio el color y la apariencia de cerdo en adobo cocinado en el cocedor fueron preferidas. En la figura 5 se presenta comparación similar, pero para un pay de requesón, nuevamente hay aspectos que se prefieren en cada forma de cocimiento. Presentamos estos dos ejemplos para hacer notar que no parece haber una constante en las preferencias en diferentes guisos en cuanto a cada una de las características organolépticas, es decir, el olor del cocimiento solar a veces es preferido al de gas y en otros casos lo opuesto es lo observado.



**Figura 4. Características organolépticas de un guisado de cerdo en adobo, en escala de 0 a 10, donde se ha iniciado el eje en el 4 para claridad de la gráfica.**



**Figura 5. Características organolépticas de un pay de requesón, en escala de 0 a 10, donde se ha iniciado el eje en el 4 para claridad de la gráfica. Además de sopas o guisado también se pueden cocinar postres en el cocedor solar.**

Con el objeto de generar una visión integradora de las características organolépticas se puede calcular el área de los pentágonos irregulares formados de las gráficas. Con ello realizaron pruebas estadísticas y se encontró que no había diferencia significativa entre los resultados para la estufa de gas y del cocedor solar, por lo tanto podemos concluir que desde este punto de vista no hay inconveniente en usar un cocedor solar para preparar alimentos como los que hemos mencionado.

Otro aspecto importante es el valor nutricional de los alimentos preparados en el cocedor solar, éste es un tema a investigar y del cual no tenemos todavía información que podamos compartir.

### **A manera de conclusión**

De lo anteriormente expuesto podemos decir que, aunque los hornos o estufas solares tienen desventajas, los cocedores solares son una alternativa real para satisfacer las necesidades de preparación de la comida y simultáneamente ahorrar tiempo y energía. Además son un ejemplo a seguir en el uso de las fuentes renovables de energía para uso diario. En el camino hacia la innovación estos cocedores pueden ser una alternativa para propiciar una cadena de "restaurantes solares", ésta podría ser una alternativa en el camino al desarrollo sustentable.

## Bibliografía

J.L. Ayala, S. Demesa, A. Delgado, S. Tapia y J.A. del Río, “El sabor de la comida solar” *Correo del Maestro*, 158, Julio, pp. 45-55 (2009).

R.M. Muthusivagami, R. Velraj, R. Sethumadhavan, “Solar cookers with and without thermal storage—A review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 691–701 (2010).

O.A. Jaramillo, G. Huelsz, G. Hernández-Luna, J.A. del Río, R. Acosta, y L.G. Arriaga, “Solar oven for intertropical zones: Optogeometrical design”, *Energy Conv. Manag.* 48, 2649-2656 (2007).

A. Promeyrat, M.L. Bax, S. Traoré, L. Aubry, V. Santé-Lhoutellier, Ph. Gatellier

“Changed dynamics in myofibrillar protein aggregation as a consequence of heating time and temperature”, *Meat Science* 85, 625–631 (2010)