

# DESARROLLO Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE UNA ESTUFA ECOLÓGICA DE ALTA EFICIENCIA Y PESO LIGERO

## DEVELOPMENT AND TECHNOLOGICAL TRANSFER OF A HIGH EFFICIENCY AND LIGHT WEIGHT ECOLOGICAL STOVE

Neín Farrera-Vázquez, Joel Moreira-Acosta, Óscar Martínez-Aguirre, Orlando Lastres-Danguillecourt<sup>1</sup>

### RESUMEN

Se presentan algunos antecedentes sobre estufas ecológicas que se utilizan en Latinoamérica, México y Chiapas. Además se expone el diseño de una estufa ecológica que incluye la definición de los componentes y el modelado 3D, así como, la construcción de un prototipo. Se describen los elementos innovadores respecto a versiones anteriores desarrolladas por el grupo de trabajo. Asimismo, se manifiesta la transferencia tecnológica que se llevó a cabo de la estufa desarrollada en la comunidad Francisco I. Madero, Villacorzo, Chiapas. En esta comunidad también se implementaron 30 estufas. Finalmente, se reseñan las demostraciones y donaciones realizadas respectivamente, en la UNAM y en las comunidades Francisco Javier Mina y El Zapotillo, Ixtapa, Chiapas. La estufa alcanza temperaturas superiores a los 400 grados centígrados en el comal. Los gases de combustión se extraen de las viviendas por medio de una chimenea y el ahorro de leña es del 70%.

**Palabras clave:** Estufa ecológica, transferencia tecnológica, desarrollo.

### ABSTRACT

Some background information on ecological stoves used in Latin America, Mexico and Chiapas is presented. In addition the design of an ecological stove is shown that includes the definition of the components and the 3D modeling as well as the construction of a prototype. Innovative elements are described compared to previous versions developed by the work. The technology transfer was carried out in the Francisco I. Madero community, Villacorzo, Chiapas, in this community 30 stoves were also implemented. In addition, demonstrations and donations made at UNAM and in the Francisco Javier Mina and El Zapotillo communities, Ixtapa, Chiapas are presented. The stove reaches temperatures above 400 degrees Celsius on the comal. The combustion gases are extracted from the houses by means of a chimney and the saving of firewood is 70%.

**Keywords:** Ecological stove, technological transfer, development.

### INTRODUCCIÓN

A nivel mundial una tercera parte de la población cocina con leña u otro tipo de biomasa, esto conlleva a un problema de salud pública dado que se utilizan estufas o fogones abiertos que emiten gases tóxicos, que provocan enfermedades respiratorias y de los ojos. En Chiapas el problema es mayor, ya que el 50% de la población usa leña en la preparación de sus alimentos o para calentar agua para uso higiénico, por lo que además del problema de salud, la tala inmoderada para obtener la leña provoca deforestación y disminución de los servicios ambientales de los bosques de nuestro estado. En este sentido, el grupo de investigación de Sistemas Energéticos Re-

<sup>1</sup>Profesores- investigadores del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas  
Email: nein.farrera@unicach.mx; joel.moreira@unicach.mx;  
oscar.martinez@unicach.mx; orlando.lastres@unicach.mx

novables del Instituto de Investigación e Innovación (IIIER) de la UNICACH y la Universidad del Valle de México, Campus Tuxtla, colaboraron para desarrollar una estufa que cumpla con los requerimientos culturales de la región sureste de México, elimine los gases de la combustión producidos por la leña hacia el exterior de la cocina y disminuya la cantidad de este biocombustible que se utiliza en la cocción de alimentos. La estufa fue desarrollada a partir de varios estudios, entre las que destaca la prueba de comportamiento térmico del comal, lográndose obtener en 15 minutos una temperatura de 411°C.

### ANTECEDENTES

Según el estudio "Estufas Ahorradoras de Leña para el Hogar Rural (CATIE 1994), se han desarrollado varios tipos de estufa ahorradora de leña en la región centro-americana como la Josefina, Santa Ana, Mejorada y Ceta. Al evaluarse éstas, además de reducir el consumo de leña, reducen el tiempo de cocción de los alimentos, el humo de la cocina, el tiempo que la familia invierte en la recolección de leña y, consecuentemente, contribuyen a reducir la deforestación.

Los programas realizados han mostrado los beneficios al ambiente local y global, sobre todo, los beneficios a la salud, el ahorro de tiempo y dinero, y en general el mejoramiento de la calidad de vida de las familias.

Otras iniciativas nacionales son las de Perú y México. En Perú se le denomina: "Campaña: medio millón de cocinas mejoradas por un Perú sin humo"; este programa inició en junio de 2009 y terminó en diciembre de 2011. Uno de los principales logros de esta iniciativa es la coordinación establecida, ya que se involucró a siete ministerios de gobierno, se firmaron varios decretos gubernamentales que contemplan temas económicos, políticos y por supuesto, una norma para la construcción de las estufas y un reglamento de certificación de las tecnologías.

En Chiapas se han adoptado estufas ahorradoras de leña como es el caso de la región de la Reserva El Ocote en donde se implementaron estufas tipo Ceta y Lorena desde 1996. El Centro de Investigación y desarrollo tecnológico en Energías Renovables (actualmente IIIER) en colaboración con la Universidad del Valle de México, también han desarrollado algunos modelos, de los cuales destacan una estufa multifuncional llamada Lekil

Vaj, que cuenta con un termotanque para almacenar agua caliente y un ahumador para la conservación de ciertos alimentos, además de las funciones ordinarias de una estufa de leña. Otro modelo implementado es la estufa Enerchía la cual hasta el año 2016, habían sido implementadas más de 2500 en diversas comunidades del estado, su principal característica es que está elaborada en la parte exterior con madera de pino como un aislante final y su ahorro de leña es del 60 a 70 %.

Actualmente existe una amplia variedad de modelos de estufas ecológicas disponibles, con variaciones significativas respecto al aspecto físico, materiales de construcción y costo. Sin embargo, sólo para algunas de ellas, se cuenta con algún tipo de información sobre su eficiencia energética, grado de aceptación de la población y de emisiones generadas, aspectos que son cruciales para lograr los objetivos de programas de implementación relacionados con protección a la salud y al ambiente.

### DESARROLLO TECNOLÓGICO

La estufa ecológica de alta eficiencia y peso ligero es una tecnología que tiene características únicas tanto en su diseño como en los materiales utilizados. Para su desarrollo se tomaron en cuenta estudios experimentales de la estufa realizada en una cámara de combustión donde se variaron parámetros importantes. El diseño además toma en cuenta el costo de los materiales, la accesibilidad de estos y el proceso constructivo. La cámara de combustión tiene tres aislantes, el primero es un cerámico tradicional que detiene el choque térmico de la combustión, el segundo es un material liviano de fibra cerámica que soporta 1200 °C y el tercero es madera que evita que el calor llegue al exterior, ahorrando aún mas energía y manteniendo una alta temperatura al interior de la cámara de combustión, hasta por más de 3 horas además de que es estéticamente aceptable por los habitantes de las comunidades rurales del Sureste de México.

En la primera etapa, una vez definido el tamaño de los principales componentes, se procedió a modelar en 3D cada parte y luego se realizó el ensamble virtual de la estufa en el software Solidworks (Figura1). En el cual también se realizó la simulación térmica del comal.

En una segunda fase del desarrollo se procedió a la construcción del prototipo, cabe señalar que



Figura 1. Modelación 3D en software CAD. Participaron estudiantes de UVM y UNICACH. (Foto Osbaldo Y. García 2019)

se realizaron análisis teóricos y experimentales, en el que participan estudiantes de maestría y doctorado del IIIER-UNICACH-UVM. Pero principalmente se tomó en cuenta la experiencia en estudios experimentales de estufas desarrolladas en México y en Chiapas, algunas de las cuales, se encuentran en el mismo IIIER (existen tesis de estos estudios realizados entre 2011 y 2018).

El primer prototipo se construyó en el taller del IIIER (Figura 2). Se puede destacar que el peso del dispositivo es de 64.5 kilogramos, se puede observar cómo se colocaron los tres aislantes térmicos mencionados anteriormente.

Estos aislantes se integran en un “encapsulado” formando las paredes laterales y el piso, además se integran al soporte de madera (patas), formando tres elementos que se prefabrican (subensambles), para

su ensamble final en las comunidades, acelerando dicho proceso final (ensamble) en un promedio de 20 minutos (Figura 3). Estos elementos, son importantes, ya que se permiten la transportación a lugares de difícil acceso.

Por otro lado, las partes metálicas son de larga durabilidad, el comal (principal elemento de transferencia de calor para la cocción de alimentos) es calibre 10 (3.5 mm de espesor) con un refuerzo en las aristas que logra que sea indeformable, en las pruebas intensivas a altas temperaturas se analizó dicho comportamiento (Figura 4: se midió hasta 525 °C en el comal).

En la parte frontal, y en la trasera la estufa contiene dos elementos metálicos, la entrada de la leña y soporte del comal y la salida de los gases de combustión que también soporta al comal. Estos componen-



Figura 2. Construcción del prototipo en el Taller del IIIER-UNICACH. (Foto Oscar Martínez 2019)



Figura 3. Encapsulados con aislantes térmicos de la Estufa Ecológica desarrollada. Foto N. Farrera (UNAM- Querétaro, octubre 2019).



Figura 4. Temperatura en el comal superior a los 500 °C. (Foto Oscar Martínez 2019)

tes, primero se integraron con elementos tubulares, lo que hacía complicada su fabricación y colocación. Posteriormente, como parte del mismo desarrollo, se modeló y maquinó en un software 3D (Figura 5) y Router CNC (Figura 6), logrando una mayor exactitud de sus dimensiones y un proceso de fabricación rápida, para su producción en serie (este proceso se desarrolló en los talleres de UVM Tuxtla).

El proceso de maquinado con el Router CNC de la entrada y salida, es un paso importante para la producción en serie de este dispositivo, ya que se reduce el tiempo de fabricación, de ensamble y las dimensiones finales de estos elementos tienen mayor exactitud, lo que mejoran el funcionamiento de la estufa, evitando fugas de los gases de combustión.

Otro componente importante de esta tecnología es el codo de salida de los gases (Figura 7), este componente soporta altas temperaturas y por lo mismo, tiene un mayor desgaste que el tubo de salida (chimenea) y el gorrito (tapa superior de la chimenea). Por lo anterior, este se construyó con un material de

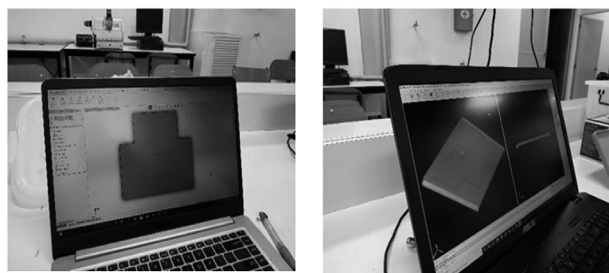


Figura 5. Modelado 3D y traducción a Código G para maquinar la "Entrada y Salida" de la estufa. (Foto Aldo E. Aguilar 2019)



Figura 6. Maquinado en Router CNC de la entrada y salida de la estufa. (Foto Osbaldo Y. García 2019)



Figura 7. Codo de salida de PTR 3.5 Pulgadas. Foto J. Moreira 2019.

alta durabilidad (PTR de 4 pulgadas), lo que garantiza su durabilidad y permite soportar el tubo de salida de gases sin dañarse.

Además del codo, el tubo extractor de las gases de la combustión (tubo de la chimenea), es otro elemento diseñado y construido por el equipo de investigación interinstitucional, este elemento también es de gran importancia, siendo uno de los que menos durabilidad tienen de las chimeneas convencionales) utiliza materiales de mayor resistencia y su tamaño permite la expulsión de los gases de forma



Figura 8. Tubo de extracción de gases de combustión (chimenea) de salida. Fotos: N. Farrera 2019 (UNAM, Querétaro), 2020 (Comunidad Francisco Javier Mina, Ixtapa, Chiapas).

eficiente, se cuenta con dos tamaños de 2 metros y 3 metros, para lugares que requieran mayor altura en la salida. En la Figura 8, se puede observar un elemento protector de la chimenea y en una demostración en la comunidad Francisco Javier Mina en Ixtapa, Chiapas. permite la expulsión de los gases de forma eficiente, se cuenta con dos tamaños de 2 metros y 3 metros, para lugares que requieran mayor altura en la salida. En la Figura 8, se puede observar un elemento protector de la chimenea y en una demostración en la comunidad Francisco Javier Mina en Ixtapa, Chiapas.

### TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Como parte del desarrollo y pruebas en condiciones reales de operación, en mayo de 2019 se presentó la estufa en el “Encuentro de cocineras del mundo indígena de Chiapas”, en la Universidad Intercultural de Chiapas. En este encuentro, las cocineras tuvieron la oportunidad de probar la tecnología, directamente en la cocción de alimentos y expresar su opinión directamente a los desarrolladores (Figura 9).

En abril de 2019, se presentó la tecnología a instituciones del gobierno que tienen programas de implementación de estufas ecológicas. La Comisión de Áreas Naturales Protegidas (CONAMP), estaba en un proceso de este tipo, por lo que se acordó hacer una demostración en el municipio de Villa Corzo, Chiapas, en la Comunidad Francisco I. Madero, dentro del Área Natural Protegida “La Frailescana”. En esta comunidad, el programa de estufas ecológicas (coordinado por la CONAMP) había otorgado un

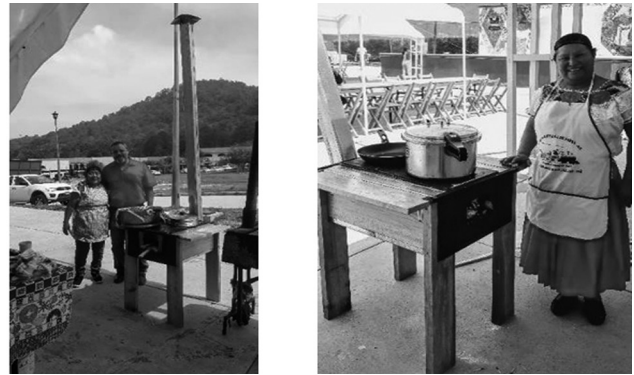


Figura 9. Encuentro de Cocineras Tradicionales Indígenas 2019 en la Universidad Intercultural de Chiapas. (Foto: Pascual López de Paz. San Cristóbal de las Casas, Chiapas)

apoyo para la adquisición de esta tecnología, en la que los pobladores debían seleccionar la estufa ecológica que cumpliera con los requisitos marcados en el programa y que la misma población debía seleccionar. En el mes de mayo de 2019, se realizó una demostración y donación de la estufa (Figura 10), para que las personas pudieran conocerla y probarla directamente.



Figura 10. Demostración y Donación de la Estufa Ecológica desarrollada, Comunidad Francisco I. Madero, Municipio de Villa Corzo, Chiapas. Foto: N. Farrera, mayo 2019.

Posteriormente, las personas tomaron la decisión de adquirirla y el equipo de trabajo, construyó, implementó y evaluó el funcionamiento de 30 dispositivos con el apoyo de académicos y estudiantes de UVM y del IIIER-UNICACH (Figura 11) durante los meses de junio a septiembre del 2019.

Posteriormente, las personas tomaron la decisión de adquirirla y el equipo de trabajo, construyó, implementó y evaluó el funcionamiento de 30 dispositivos con el apoyo de académicos y estudiantes de UVM y del IIIER-UNICACH (Figura 11) durante los meses de junio a septiembre del 2019.



Figura 11. Implementación y seguimiento de la Estufa Ecológica desarrollada en la Comunidad Francisco I. Madero, Villa Corzo, Chiapas. (Fotos Jean M. Yoqui y Oscar Martínez 2019)

En la comunidad, como parte del proyecto, también se tuvo la oportunidad de evaluar las emisiones de gases de la combustión  $CO$  y  $CO_2$  en los fogones abiertos, que son altamente nocivos para la salud, así como el consumo de leña en la cocción de alimentos (Figura 12).



Figura 12. Evaluación de Emisiones de  $CO$  y  $CO_2$  de los Fogones Abiertos en la Comunidad Francisco I. Madero del Municipio de Villa Corzo, Chiapas. (N. Farrera y Yanhsy Hernández 2019)

Esta es una de las mejores experiencias del grupo, pudiendo demostrar en las visitas realizadas después de la instalación de las 30 estufas, que las personas estaban altamente satisfechas por el funcionamiento del dispositivo, el ahorro de leña y la eliminación del humo de sus viviendas (Figura 13).

Por otro lado, en octubre de 2019, en el marco del 8 Congreso Internacional de Nixtamalización, realizado en Querétaro, México, nuestro grupo tuvo la oportunidad de presentar la Estufa Ecológica en las Instalaciones de la UNAM, realizándose una demostración a los asistentes y expertos en el tema del maíz y la tortilla, de tanto de México como de otros países. Esta presentación, sirvió para intercambiar información y



Figura 13. Seguimiento de la Estufa Ecológica Desarrollada en la Comunidad Francisco I. Madero, Municipio de Villa Corzo, Chiapas. (Foto N. Farrera septiembre de 2019)

experiencias sobre el tema, dado que en este tipo de estufas, uno de los principales alimentos que se cocinan es el nixtamal y la tortilla (Figura 14).

En febrero del 2020, se realizó una demostración en el Congreso Nacional de FIMPES en las instalaciones de UVM, con los directivos y coordinadores de investigación de universidades privadas de todo el país, con el fin de mostrar una tecnología aplicada enfocada a comunidades marginadas. Se intercambiaron comentarios e invitaciones para llevar esta experiencia a otros lugares fuera de Chiapas (Figura 15).



Figura 14. Transferencia de la Estufa Ecológica Desarrollada en la UNAM-Querétaro. Octubre 2019. (Fotos: N. Farrera y Fidel Antúnez)



Figura 15. Congreso Nacional de FIMPES realizado en la Universidad del Valle de México, Campus Tuxtla. Febrero del 2020. (Foto N. Farrera)

En septiembre de 2020, se realizó una actividad demostrativa de la estufa y donación en las comunidades Francisco Javier Mina y El Zapotillo del Municipio de Ixtapa, Chiapas. Se obtuvo información valiosa que será tomada en cuenta para desarrollar elementos complementarios o versiones alternativas de esta misma tecnología de acuerdo a requerimientos respecto a la cocción de alimentos y a la seguridad que señalaron (Figura 16).



Figura 16. Demostración y Donación de la Estufa Ecológica desarrollada en las comunidades Francisco Javier Mina y El Zapotillo, Municipio de Ixtapa, Chiapas. (Fotos Jorge E. Conde y Oscar Martínez septiembre 2020)

Es importante señalar, que esta tecnología fue desarrollada con el propósito de que las comunidades la utilicen por sus características de funcionalidad (similares al fuego directo) y que sus partes fundamentales sean de larga duración, pero que además cumpla con la extracción de gases de combustión y disminución de la cantidad de leña requerida para la cocción de alimentos. Aspectos que el grupo de investigación tiene más de 10 años estudiando. En las gráficas de la Figura 17, se puede observar la

temperatura en el comal que se mantiene en los 400 grados con una alimentación controlada de la leña y también las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> se mantienen por debajo de los límites permisibles, lo que tiene un impacto positivo en la salud de las personas, principalmente mujeres y niños.

## CONCLUSIONES

La estufa desarrollada presenta mejoras significativas respecto a versiones anteriores realizadas por nuestro grupo, principalmente esta tecnología es de fácil transportación y ensamble así como de peso ligero, además de que tiene una alta eficiencia térmica al mantenerse con menos leña que un fogón tradicional a una temperatura promedio de 400°C. La extracción de los gases de combustión, se cumplió de manera adecuada, ya que el CO y CO<sub>2</sub> se mantienen por debajo de los límites permisibles, en los casos que aquí se documentan. Con estos aspectos se logró que los beneficiarios la adoptaran y la prefieran (la mayor parte de ellos) para su adquisición. En las visitas posteriores a la implementación en la comunidad Francisco I. Madero, las personas mostraron satisfacción y la mayoría de las estufas se utilizan de manera cotidiana.

En las presentaciones y donaciones que se han realizado, se han obtenido observaciones y comentarios sobre la tecnología que servirán para que se mejore, como es el caso de las dimensiones del comal y un elemento que detenga la madera (leña) en la entrada de la estufa, para mayor seguridad de esta tecnología. Estos elementos de mejora están sujetos a aspectos económicos, por lo que se pretende desarrollar al menos tres versiones del dispositivo, con

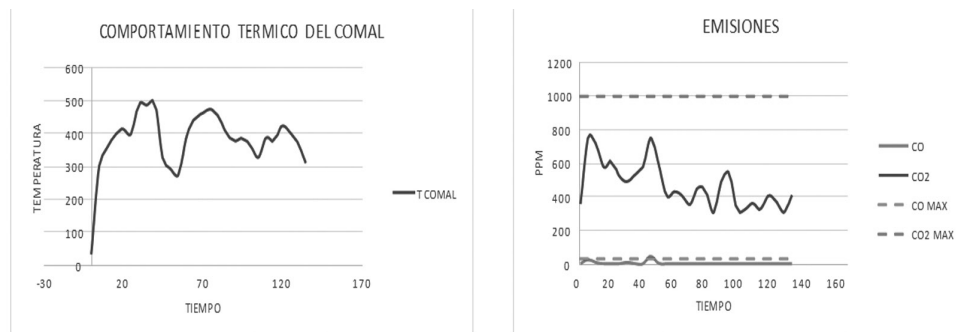


Figura 17. Gráfica del comportamiento térmico del comal y de las emisiones de CO y CO<sub>2</sub>. (Evaluación: Oscar Martínez Aguirre-Johana de la Cruz Ascencio. Noviembre-2020)

sus variaciones en los costos de materiales y producción.

Actualmente se siguen desarrollando estudios de la estufa con componentes adicionales como lo son un sistema de intercambiadores de calor para fluidos que tendrá aplicaciones para calefacción, calentar agua y refrigeración, así como un sistema generador de energía eléctrica con el calor residual de los gases de combustión (termoacústico), ambos proyectos son tesis de maestría y doctorado en el IIIER-UNICACH.

Agradecemos la colaboración de los Doctores Roiláin Iglesias Díaz y Jorge Conde Díaz así como a los Maestros Osbaldo García Ramos y Aldo Aguilar Castillejos y a la Ing. Johana de la Cruz Ascencio quienes apoyaron en diferentes etapas del desarrollo e implementación de esta tecnología.

## REFERENCIAS

1. Blanco S., Cárdenas B., Maíz P., Berrueta V., Masera O. y Cruz J. 2009. Estudio comparativo de estufas mejoradas para sustentar un Programa de Intervención Masiva en México. Informe Final. Instituto Nacional de Ecología. Versión actualizada Septiembre de 2012. México D.F. 61pp.
2. CATIE Costa Rica, "Estufas ahorradoras de leña para el hogar rural: validación y construcción", Serie Técnica. Informe Técnico no. 216. 63 P.
3. Díaz, Jiménez R. Alatorre, Frenk, C. Masera O. "El uso de bioenergía en los hogares: impactos ambientales y en la salud "Pátzcuaro, Michoacán, 2003.
4. Farrera-Vázquez, N. Tecnologías Termosolares y Bioenergéticas y su Contribución al Desarrollo Sustentable de Comunidades Rurales Marginadas de Chiapas.
5. GIRA, 2004. Informe Final: "El uso de estufas mejoradas de leña en los hogares: evaluación de reducciones en la exposición personal". Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada.
6. Instituto Nacional de Ecología. Versión actualizada septiembre de 2012. México D.F. 61pp
7. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura "Mujeres: llave de la seguridad alimentaria".
8. Ruiz-Mercado, I., Masera, O. et al. (2011). "Adoption and sustained use of improved cookstoves." Energy Policy.
9. Soares, D. "Genero, leña y sostenibilidad: El caso de una comunidad de los altos de Chiapas". Economía, Sociedad y Territorio. Vol. 21, 2006.