

Análisis de Ciclo de Vida de estufas de leña usadas en México

Víctor Manuel Ruiz-García *, Alfredo Fernando Fuentes-Gutierrez

Laboratorio de Innovación y Evaluación en Bioenergía (LINEB) y Unidad de Ecotecnologías, Grupo de Innovación Ecotecnológica y Bioenergía (GIEB), Instituto de investigaciones en Ecosistemas (IIES), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Morelia, Michoacán, México

* Autor de correspondencia: vruiz@cieco.unam.mx; Tel.: (+52 443 322 27 77 ext 80775)

Recibido: 26 de abril de 2021 Aceptado: 10 de mayo de 2021

Resumen: Actualmente, en el mundo existe un uso de tecnologías obsoletas para satisfacer necesidades de cocción y calentamiento de agua en zonas rurales. Estas tecnologías tienen emisiones con impactos al medio ambiente, lo que contribuye al cambio climático. Este estudio realiza un Análisis de Ciclo de Vida en la categoría de impacto de Potencial de Calentamiento Global (CO₂e) en seis dispositivos que utilizan leña y que son representativos de México y Centroamérica. Como parte de este análisis se integran mediciones de emisiones y consumos energéticos típicos de tareas de cocinado y calentamiento de agua. Dispositivos como el fuego abierto tienen aportaciones nulas de CO₂e en la construcción, pero representan las mayores emisiones y consumos energéticos en un día típico de cocinado. Por otro lado, estufas como la Patsari y la Onil, contribuyen a mitigar emisiones de CO₂e en largo plazo. Las principales aportaciones de CO₂e se producen en el uso final. Este análisis es útil en la toma de decisiones para implementación de programas masivos de estufas.

Palabras clave: biocombustibles sólidos; impactos; política pública, mitigación de gases de efecto invernadero, sector residencial rural

Life Cycle Assessment of wood cookstoves from Mexico and Central America

Abstract: Currently, in the world, there is a use of obsolete technologies to satisfy cooking and water heating needs in rural areas. These technologies have emissions with environmental impacts, which contribute to climate change. This study performs a Life Cycle Assessment in the Global Warming Potential (CO₂e) impact category in six firewood devices representative of Mexico and Central America. As part of this analysis, measurements of emissions and energy consumption in a typical day during water heating and cooking tasks were integrated. Devices such as open fire have zero CO₂e contributions in the construction but represent the highest emissions and energy consumption in a typical cooking day. On the other hand, cookstoves such as the Patsari and the Onil contribute to mitigating CO₂e emissions in the long term. The main CO₂e contributions are produced in the final use. This analysis is useful in making decisions for the implementation of massive cookstove programs.

Keywords: solid biofuels; impacts; public policy, greenhouse gas mitigation, rural residential sector

Introducción

Actualmente existe una pobreza energética para satisfacer necesidades básicas de la población como calentamiento de agua, cocción y calefacción. Para satisfacer estas necesidades, la mitad de la población en el mundo utiliza biomasa, principalmente leña (L'Orange et al., 2015), mientras que en México existen cerca de 28 millones de usuarios (Serrano-Medrano et al., 2018). El uso de esta leña se utiliza principalmente en dispositivos ineficientes como los fuegos abiertos con pobres eficiencias térmicas y de combustión. Para atender estas necesidades se han realizado esfuerzos a nivel internacional como los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), entre los cuales se contemplan estrategias para lograr el acceso a la energía limpia y asequible, así como la mitigación al cambio climático. Este tipo de estrategias tendrán mayor impacto si se hace uso del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como una herramienta de medición de impactos (Maccarty & Mark, 2016). Esta herramienta puede orientar programas de implementación masivos de tecnologías que buscan reducir muertes por exposición al humo de leña (OMS, 2010), satisfacer tareas térmicas en el sector residencial y mitigar Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Lee et al., 2013). Este estudio realiza un ACV en las estufas de leña más representativas de México y Centroamérica. Como parte de este análisis se integran mediciones de emisiones y consumos energéticos típicos de tareas de cocinado y calentamiento de agua.

Materiales y Métodos

Definición de objetivos y alcance

Realizar una comparación de los impactos de producción de los componentes, su distribución y elaboración de seis modelos de estufas más representativas de México. Las estufas incluyen modelos de estufas metálicas, de construcción

in-situ y modulares. Las estufas son estufa Patsari, Lorena, Ecostufa, Onil, Gamadaric y Mera-Mera. Los modelos de estufas fueron comparados con un fogón de tres piedras utilizado en la zona de la Meseta Purépecha de Michoacán, México. Se utilizó la metodología ACV sugerida por la ISO 14044 (Life Cycle Assess. Handb., 2012; Hauschild et al., 2015).

Los límites del sistema se definen en la Figura 1. Este estudio no contempla la vida útil de las tecnologías, debido a que no existe información en la literatura sobre todas las tecnologías estudiadas. Para definir la evaluación se contempla evaluar los impactos a 18 meses. El estudio aborda un análisis de impacto al ambiente. La categoría de impacto analizada es el Potencial de Calentamiento Global expresada como dióxido de carbono equivalente (CO_2e). Como parte de esta categoría se contemplaron los contaminantes de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4). Se consideró un factor de No Renovabilidad de la Biomasa (fNRB) en México de 25% para el CO_2 (Bailis et al., 2015). El óxido nitroso (N_2O) no es contemplado en las mediciones debido a que no se produce en este tipo de dispositivos por las bajas temperaturas en las cámaras de combustión (Johnson et al., 2008). El ACV se realizó mediante una base de cálculo propia que fue alimentada con los datos generados en el estudio. El sitio de estudio fue la Meseta Purépecha en Michoacán, México. Esta zona posee usuarios mixtos y exclusivos de fuegos abiertos y estufas de leña (Ruiz-García y Masera, 2020). La unidad funcional es una estufa utilizada para realizar las tareas de cocción y calentamiento de agua en zonas rurales: la unidad funcional es “estufa”. Como parte de análisis no se tienen subproductos dentro del sistema evaluado.

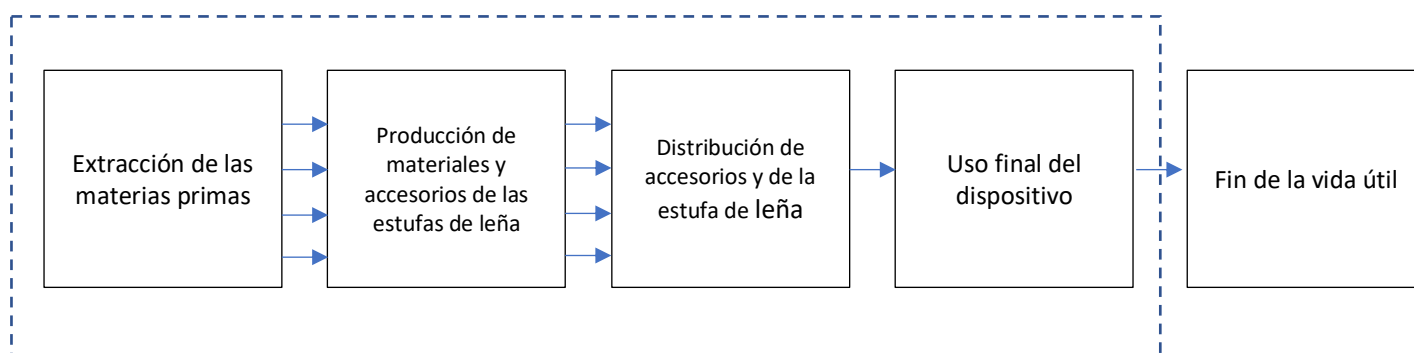


Figura 1. Límites del sistema para una estufa de leña

Generación y análisis del inventario

El análisis de inventario incluye un análisis detallado de todas las piezas que componen a las diferentes estufas de leña. Distinguiendo entre materiales por tecnología, para el caso de aleaciones especiales (porciones menores) se supuso el material que más predomina en la estufa (Ver Tabla 1). Para obtener los datos de distancias de transporte, eficiencia de vehículos y cantidad de material transportado se realizaron encuestas a las empresas manufactureras (Ver Tabla 2). Para el caso de factores de emisión por extracción y transporte se utilizaron datos secundarios de la literatura. El inventario contiene datos primarios respecto a las evaluaciones del uso final de las tecnologías, estas evaluaciones fueron realizadas en laboratorio. El CH_4 se analizó mediante un cromatógrafo de gases Young Ling modelo 6500 (GC YL6500, Corea), con un detector de llama ionizado (FID, por sus siglas en inglés) que funciona con aire seco y nitrógeno. Se usó una válvula de inyección para inyectar 2 mL de muestra, usando una relación 1:20 con helio como gas de arrastre dentro de la columna. El cromatógrafo de gases tiene una columna de alta resolución de 60 m de longitud y 0.320 mm de diámetro, con límites de temperatura de -80°C a 260°C (GS Gaspro, Agilent Technologies, EE. UU.). Las curvas de calibración se determinaron utilizando gases estándar de 15 ppm, 100 ppm. La medición de emisiones de CO_2 se realizó con el Sistema de Medición de Emisiones (LEMS, por sus siglas en inglés) (Aprovecho Research Center, Oregon, EE. UU.). Las concentraciones en tiempo real se midieron utilizando un sensor infrarrojo no dispersivo (NDIR) para el CO_2 . El sensor de CO_2 se calibró utilizando aire cero y un gas de referencia de 5000 ppm de CO_2 (Ruiz-García et al., 2018). Los flujos en la toma de muestra fueron medidos con un calibrador de flujos (Defender 530, USA, Texas).

Resultados y Discusión

La Tabla 1 muestra el inventario de los materiales con los que se construyen las estufas. Las estufas Lorena y Patsari son estufas de construcción *in-situ* por lo que los materiales para su construcción son locales, por otro lado, la estufa Onil es construida con bloques prefabricados y el ensamble se termina *in-situ*, finalmente las estufas Mera-Mera, Ecostufa y Gamadaric son metálicas, ensambladas desde fábrica y móviles. La Tabla 2 muestra que las estufas metálicas tienen los mayores impactos en emisiones de CO₂e en la extracción y producción de sus materiales, principalmente la estufa Gamadaric con 1522 kg CO₂e. La estufa Gadamaric también tiene los mayores impactos en emisiones por distribución con 26 kg CO₂e.

Tabla 1. Inventario de los materiales de construcción de las tecnologías evaluadas

Estufa	Materiales	Cantidad	Unidad	Peso por unidad	Peso total por material	Peso total por estufa
				kg	kg	kg
Patsari	Tabique	41	pza	2.6	105.8	352
	Arena	4	bote (19 L)	22.0	88.0	
	Cemento	1	bulto 50	50.0	50.0	
	Barro	1.5	bote (19 L)	22.0	33.0	
	Tubos galvanizados	3	pza	0.5	1.5	
	Comales de acero	3	pza	1.7	5.1	
	Grava y arena	3	bote (19 L)	22.0	66.0	
	Rejilla	1	pza	1.0	1.0	
	Ladrillo con huecos	2	pza	0.4	0.8	
	Gorro para chimenea	1	pza	0.4	0.4	
Mera-Mera	Barro	0.75	bote (19L)	22.0	16.5	37
	Tubos galvanizados	1	pza	1.3	1.3	
	Hierro colado	1	pza	14.0	14.0	
	Aluminio	1	pza	5.0	5.0	
ONIL	Botes de arena	3	bote (19 L)	22.0	66.0	149
	Cemento	1.5	bulto	50.0	75.0	
	Tubos galvanizados	1	pza	1.5	1.5	
	Comales	2	pza	1.4	2.9	
	Ladrillo	1	pza	3.7	3.7	
	Gorro para chimenea	1	pza	0.4	0.4	
Gamadaric	Hierro	1	pza	46.5	46.5	51
	Tubos galvanizados	1	pza	1.3	1.3	
	Reja hierro colado	1	pza	1.7	1.7	
	Aluminio	1	pza	1.5	1.5	
Ecostufa	Lamina de hierro	1	pza	29.5	29.5	45
	Tubos galvanizados	1	pza	1.3	1.3	
	Comal hierro colado	1	pza	12.5	12.5	
	Reja de hierro	1	pza	1.5	1.5	
Lorena	Botes de arena	13	bote (19 L)	22.0	286.0	449
	Barro	7	bote (19 L)	22.0	154.0	
	Tubos galvanizados	1	pza	1.5	1.5	
	Comales	3	pza	1.7	5.1	
	Sal	2	bolsa	1.0	2.0	
	Gorro para chimenea	1	pza	0.4	0.4	
Fogón	Comal de acero	1	pza	1.7	1.7	1.7

Tabla 2. Fase de extracción y producción para materiales de construcción de diferentes modelos de estufas.

Estufa	Material	Factor de emisión	Masa de material	Categoría de impacto
		Masa de material	Estufa	Unidad funcional
		kg CO ₂ e kg	kg estufa	kg CO ₂ e estufa
Patsari	Barro para tabique	0.35	106	37
	Tubos galvanizados	3.7	1.5	5
	Comales de acero	3.7	5.1	19
	Rejilla y gorro de chimenea	3.7	1.4	5
	Cemento	0.745	50	37
Mera-Mera	Barro	0.35	17	6
	Tubos galvanizados	3.7	1.3	5
	Hierro colado	31	14.0	434
	Aluminio	15	5.0	75
ONIL	Arena	0.085	66	6
	Acero	3.7	4.8	18
	Cemento	6.8	75.0	513
	Ladrillo	0.35	3.7	1
Gamadaric	Hierro	31.0	48	1494
	Acero	3.7	1.3	5
	Aluminio	15.0	1.5	23
Ecostufa	Hierro	31	44	1349
	Acero	15	1.3	20
Lorena	Acero	3.7	7	26
	Barro y arena	0.005	440	2
Fogón	Acero	3.7	2	6

Nota: Referencias de extracción y producción: fase de Extracción para tabique (INE-UAMI, 2010; GIRA, 2011), fase de extracción para tubos galvanizados, fase de extracción para comales de acero, fase de extracción para base metálica y gorro de chimenea y fase de extracción para cemento (INE-SEMARNAT, 2006).

Tabla 3. Fase de distribución de materiales de construcción de diferentes modelos de estufas.

Estufa	Descripción del traslado del material/estufa al sitio de uso	Recorrido	Rendimiento	Categoría de impacto
		km	$\frac{L}{MJ}$	Unidad funcional
				kg CO ₂ e estufa
Patsari	Comales, tubos y gorro de chimenea	364	0.1	1
	Cemento y tabiques	82	0.1	1
	Barro y arena	16	0.1	4
	Hacia el lugar de construcción	57	0.1	16
Mera-Mera	Materiales hacia la zona de fabricación	200	0.1	1
	Estufa a Michoacán	900	0.1	5
Onil	Materiales a la zona de fabricación	200	0.1	1
	Estufa a Michoacán	400	0.1	2
Gamadaric	Materiales a la zona de fabricación	200	0.1	1
	Distribución de estufa a Michoacán	9000	0.1	25
Ecostufa	Materiales a la zona de fabricación	200	0.1	1
	Distribución de estufa a Michoacán	100	0.2	1
Fogón	Materiales a la zona de fabricación	200	0.1	1

Nota: El factor de emisión reportado en la literatura para camiones y camionetas a motor diésel es 0.085 Kg CO₂e/MJ y poder calorífico de 32.6 MJ/L.

La Tabla 4 muestra los factores de emisión de las estufas evaluadas, en donde la estufa Gamadaric presentó la mayor contribución en términos de CO₂e, con emisiones de 0.494 kg(CO₂e)/kg leña. La estufa Ecostufa tiene la mayor contribución de emisiones de CO₂ con 1468 g(CO₂)/kg leña, mientras que la estufa Gamadaric tiene la mayor contribución de CH₄ con 5 g(CH₄)/kg leña. Por otro lado, los mayores consumos de leña los presenta el fuego abierto

con 15.5 kg de leña seca por día. Este parámetro es muy importante, ya que consumo elevado pueden tener contribuciones importantes emisiones de CO₂e a largo plazo. Las emisiones de dispositivos como la estufa Patsari y el fogón abierto, son similares a estudios realizados por Johnson et al (2008). Para el caso de consumo de leña, los datos para la estufa Patsari y el fogón son similares a los reportados por Serrano-Medrano et al (2018).

Tabla 4. Consumos de leña y factores de emisión de CO₂ y CH₄ por kilogramo de leña seca consumida

Factores de emisión	Patsari	Mera-Mera	Onil	Ecostufa	Lorena	Gamadarcic	Fogón
g(CO ₂)/kg leña	1397	1543	1434	1468	1463	1417	1417
g(CH ₄)/kg leña	1	2	1	4	4	5	1
Total kg(CO ₂ e)/kg leña	0.383	0.433	0.375	0.467	0.467	0.494	0.396
Consumo de leña (kg/(día · estufa)	7.7	7.4	9.0	5.9	7.9	8.5	15.5

Nota: Potencial global de calentamiento: CO₂ = 1 y CH₄=28 (IPCC, 2015). Se utilizó un factor de renovabilidad de la leña para México de 0.75 (Bailis et al., 2015).

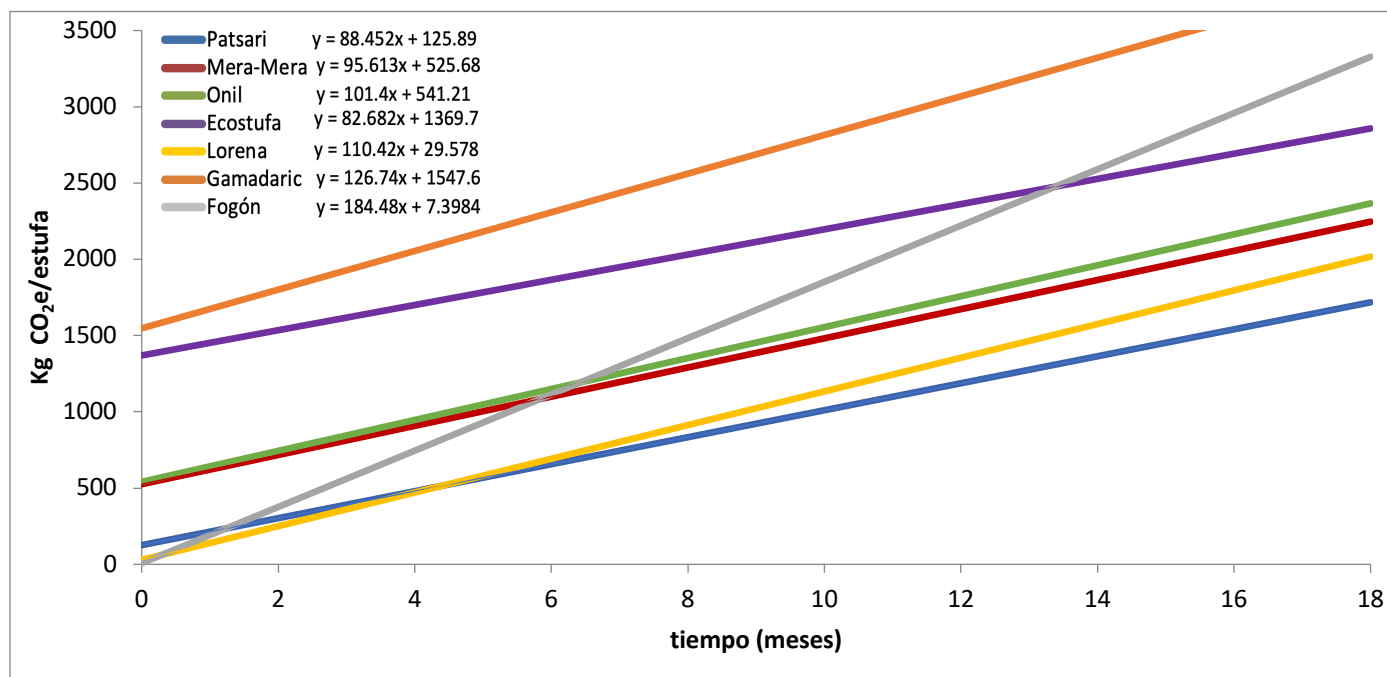


Figura 2. Emisiones de CO₂e desde la extracción de las materias primas hasta el uso final de los dispositivos que utilizan leña.

Conclusiones

En los dispositivos evaluados, los principales impactos de emisiones de CO₂e se dan en el uso final, y mínimamente en la extracción de materias primas, fabricación y transporte. La estufa Patsari en la tendencia al largo plazo es la estufa con menores emisiones de CO₂e. Las regulaciones de este tipo de tecnologías se deben enfocar en evaluaciones de gases de efecto invernadero producidas por su uso.

Bibliografía

- Bailis, R., Drigo, R., Ghilardi, A., & Masera, O. (2015). The carbon footprint of traditional woodfuels. *Nature Climate Change*, 5(3), 266–272. <https://doi.org/10.1038/nclimate2491>
- Hauschild, M. (2015). *Life Cycle Impact Assessment. International Journal of Life Cycle Assessment* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1007/BF02978760>
- IPCC. (2015). *Cambio climático 2014: Informe de Síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (Primera pu). Ginebra, Suiza.
- Johnson, M., Edwards, R., Alatorre Frenk, C., & Masera, O. (2008). In-field greenhouse gas emissions from cookstoves in rural Mexican households. *Atmospheric Environment*, 42(6), 1206–1222. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.10.034>
- L'Orange, C. L., Leith, D., Volckens, J., & Defoort, M. (2015). ScienceDirect A quantitative model of cookstove variability and field performance: Implications for sample size. *Biomass and Bioenergy*, 72, 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.10.031>
- Lee, C. M., Chandler, C., Lazarus, M., & Johnson, F. X. (2013). Assessing the Climate Impacts of Cookstove Projects: Issues in Emissions Accounting. *Challenges in Sustainability*, 1(2), 53–71. <https://doi.org/10.12924/cis2013.01020053>

- Life Cycle Assessment Handbook*. (2012). *Life Cycle Assessment Handbook*. <https://doi.org/10.1002/9781118528372>
- Maccarty, N. A., & Mark, K. (2016). An integrated systems model for energy services in rural developing communities *Global Community Household*, 113, 536–557.
- OMS. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. *World Health Organization Regional Office for Europe, Bonn*. Retrieved from http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf
- Ruiz-García, V.M., Edwards, R. D., Ghasemian, M., Berrueta, V. M., Princevac, M., Vázquez, J. C., ... Masera, O. R. (2018). Fugitive Emissions and Health Implications of Plancha-Type Stoves. *Environmental Science and Technology*, 52(18). <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01704>
- Ruiz-García, Víctor M, & Masera, O. R. (2020). Energías renovables en el sector residencial rural en México : estado del arte y oportunidades de colaboración interinstitucional, 5(1), 238–245.
- Serrano-Medrano, M., García-Bustamante, C., Berrueta, V. M., Martínez-Bravo, R., Ruiz-García, V. M., Ghilardi, A., & Masera, O. (2018). Promoting LPG, clean woodburning cookstoves or both? Climate change mitigation implications of integrated household energy transition scenarios in rural Mexico. *Environmental Research Letters*, 13(11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aad5b8>