






Artículo de divulgación

## Biomasa forestal y energía en el gradiente urbano–rural: beneficios, riesgos y desafíos para la sostenibilidad

*Forest biomass and energy along the urban–rural gradient: benefits, risks, and challenges for sustainability*

René García-Martínez <sup>1</sup> , Marlín Pérez-Suárez <sup>2</sup> , Lizbeth Carrillo-Arizmendi <sup>2,\*</sup> , Juan Carlos Montoya-Jiménez <sup>1</sup> , Julio César Ayllón-Benítez 

<sup>1</sup> Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo. Carretera Federal Valle de Bravo Km. 30, Ejido San Antonio Laguna, Valle de Bravo, 51200, Estado de México, México.

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera El Cerrillo-Piedras Blancas s/n, Toluca de Lerdo, 50295, Estado de México, México.

\* Autor para correspondencia: [lizbeth\\_18\\_ca@hotmail.com](mailto:lizbeth_18_ca@hotmail.com)

### Recibido:

1/04/2026

### Aceptado:

30/04/2026

### Publicado:

8/05/2026

### RESUMEN

El crecimiento de la población mundial y el aumento de las actividades humanas han incrementado de forma sostenida la demanda de energía, la cual continúa dependiendo mayoritariamente de los combustibles fósiles, con impactos negativos sobre el ambiente y la salud. En este contexto, la biomasa de los árboles se presenta como una alternativa energética renovable y accesible, ampliamente utilizada en zonas rurales, periurbanas y urbanas. Este artículo analiza el potencial de la biomasa forestal para contribuir a la transición energética, reducir la presión sobre los combustibles fósiles y fortalecer las economías locales. Asimismo, se examinan sus usos a lo largo del gradiente urbano–rural y los beneficios asociados a su aprovechamiento responsable, como la prevención de incendios forestales y la mitigación del cambio climático. No obstante, también se abordan sus principales desventajas, particularmente los riesgos para la salud derivados de la combustión ineficiente de biomasa, que genera contaminación del aire en espacios cerrados y emisiones de partículas finas asociadas a enfermedades respiratorias, cardiovasculares y otros padecimientos, especialmente en poblaciones vulnerables. Finalmente, se destaca que el uso sostenible de la biomasa forestal debe ir acompañado de manejo forestal responsable y tecnologías de combustión más limpias, a fin de maximizar sus beneficios energéticos y sociales, minimizando sus impactos ambientales y sanitarios.

**Palabras clave:** árboles, carbón, energía renovable, leña, recursos forestales.

### ABSTRACT

The growth of the global population and the increase in human activities have steadily raised energy demand, which continues to rely predominantly on fossil fuels, resulting in negative impacts on the environment and human health. In this context, tree biomass emerges as a renewable and accessible energy alternative, widely used in rural, peri-urban, and urban areas. This article analyzes the potential of forest biomass to contribute to the energy transition, reduce pressure on fossil fuels, and strengthen local economies. It also



examines its uses along the urban–rural gradient and the benefits associated with its responsible use, such as forest fire prevention and climate change mitigation. However, the main disadvantages are also addressed, particularly the health risks derived from inefficient biomass combustion, which generates indoor air pollution and fine particulate emissions associated with respiratory, cardiovascular, and other diseases, especially among vulnerable populations. Finally, it is emphasized that the sustainable use of forest biomass must be accompanied by responsible forest management and cleaner combustion technologies to maximize its energy and social benefits while minimizing environmental and health impacts.

**Keywords:** charcoal, firewood, forest resources, renewable energy, trees.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con las proyecciones de la ONU para el 2050, la población mundial alcanzará 9700 millones de personas que vivirán, en su mayoría, en ciudades, lo que incrementará de manera significativa la demanda de energía (FAO, 2018). La energía es una necesidad básica para la vida moderna: se utiliza en actividades cotidianas como el funcionamiento de vehículos, equipos domésticos y electrónicos, la generación de calor y el desarrollo de procesos industriales, lo que implica una constante quema de combustibles fósiles. En el gradiente urbano–rural, esta demanda energética varía de acuerdo con el nivel de desarrollo, las actividades económicas y el acceso a infraestructura. En las ciudades, el consumo es alto y constante, impulsado por viviendas, servicios, industria, transporte y el uso intensivo de tecnologías. En las zonas periurbanas, el consumo es intermedio y heterogéneo, con patrones mixtos y un crecimiento acelerado que suele superar la capacidad de la infraestructura existente. En las zonas rurales, la demanda es menor y más variable, enfocada en usos domésticos y productivos básicos, con frecuencia apoyada en fuentes tradicionales y con limitaciones en el acceso y la calidad del servicio. Esta diferenciación a lo largo del gradiente urbano–rural es clave para comprender los retos y oportunidades de la transición energética, tanto a nivel global como en países como México, donde la diversidad territorial y socioeconómica acentúa estas diferencias.

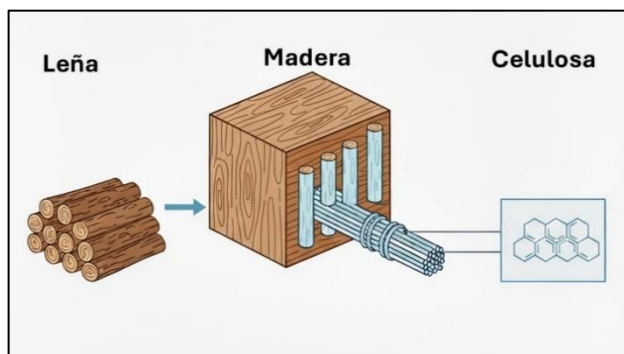
Actualmente, los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) representan aproximadamente el 86 % de la demanda mundial de energía primaria (Abas et al., 2015). Sin embargo, su combustión libera grandes cantidades de gases de efecto invernadero, lo que los convierte en una de las principales fuentes de

contaminación y cambio climático (Soeder, 2025). Frente a este panorama, la energía de biomasa se presenta como una alternativa sustentable y estratégica. La biomasa está presente en la madera, las hojas de las plantas y los residuos agrícolas, y a diferencia del petróleo, constituye un recurso renovable y natural con gran potencial para impulsar el desarrollo en comunidades rurales y periurbanas, además de ofrecer soluciones innovadoras en entornos urbanos mediante el aprovechamiento de residuos forestales y urbanos.

En la naturaleza, la biomasa se almacena en las plantas durante su crecimiento. En el caso de los árboles, está representada por la cantidad total de materia leñosa presente tanto en la parte aérea como en la subterránea (Rondeux, 2010). Este crecimiento es posible gracias a la fotosíntesis, proceso biológico mediante el cual las plantas transforman la luz del sol y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire para la producción de madera, siendo la celulosa el principal componente estructural de esta (Figura 1). La biomasa forestal, por tanto, constituye una fuente abundante de energía renovable que puede ser aprovechada de manera diferenciada en cada tramo del gradiente urbano–rural: desde el uso doméstico en comunidades rurales, pasando por actividades productivas en zonas periurbanas, hasta proyectos de generación eléctrica y economía circular en ciudades. Anualmente, la energía generada por la biomasa vegetal en el planeta es de aproximadamente 800 000 teravatiohora (TWh), de los cuales 42 % proviene de los bosques, 38 % de océanos, 9 % de pastizales y solo 5 % de las áreas de cultivo (Czisch, 2011). Esta cifra equivale a cubrir la demanda mundial por más de cuatro años, lo que evidencia su enorme potencial. En el caso de México, donde la población se distribuye de manera desigual entre grandes ciudades, zonas periurbanas en expansión y comunidades rurales con fuerte dependencia de la leña,



la biomasa representa una oportunidad para diseñar estrategias energéticas adaptadas a cada contexto, fortaleciendo la resiliencia de los territorios y contribuyendo a la mitigación del cambio climático.



**Figura 1.** Representación de la composición química de la energía de biomasa. Imagen generada por inteligencia artificial mediante Microsoft Copilot (OpenAI, 2026).

## LA BIOMASA DE LOS ÁRBOLES

La energía generada por la biomasa proveniente de los bosques se considera limpia porque se produce de manera natural a partir de la fotosíntesis y no genera emisiones adicionales de CO<sub>2</sub> durante su formación. Al ser la más abundante del planeta, constituye una alternativa energética renovable viable que, utilizada con las tecnologías adecuadas, puede reemplazar una proporción considerable del uso de combustibles fósiles (García-Ubaque et al., 2013).

Los materiales forestales más comunes como fuente de energía son la leña, el carbón vegetal, las briquetas y los pellets de madera (Figura 2). La leña corresponde a la madera cortada de árboles y arbustos; las briquetas y pellets se forman al compactar residuos de madera molida; y el carbón se obtiene de la combustión incompleta de la leña u otros materiales vegetales.



**Figura 2.** Residuos de la cosecha de árboles que se utilizan como energía de biomasa (leña). Foto: RGM

En México, según datos del INEGI (2018), el 21 % de la población utilizaba leña o carbón como fuente de energía, principalmente en comunidades rurales. Los estados de Veracruz, Chiapas y Oaxaca reportan el mayor consumo de este producto forestal (Figura 3).



**Figura 3.** Distribución del consumo de leña en México, con datos obtenidos de Masera et al. (2010) (IMAGEN: JCMJ).

En las zonas rurales del país, la proporción de hogares que usan leña o carbón es mayor, mientras que en ciudades grandes y medianas el uso relativo es menor, aunque puede crecer en términos absolutos. Esto refleja tanto desigualdades socioeconómicas como transiciones energéticas incompletas entre diferentes tipos de asentamientos. En las ciudades, el acceso a combustibles modernos como gas LP o electricidad es más amplio, pero

ciertos grupos urbanos con limitaciones económicas mantienen el uso de leña o carbón. En contraste, en áreas rurales la dependencia sigue siendo alta por razones de acceso y costo (Alvarado-Machuca et al., 2018).

## **BIOMASA EN EL GRADIENTE URBANO-RURAL**

La mayoría de la leña y carbón se obtiene de los bosques (Figura 4). En comunidades rurales, las personas recolectan o compran ramas de árboles que quedan como residuos de la industria maderera. En las ciudades, la leña y el carbón suelen obtenerse principalmente a través de canales comerciales: mercados locales, tianguis, expendios formales o informales y proveedores que transportan estos combustibles desde zonas rurales o forestales cercanas.

Sin embargo, en el entorno urbano existe un potencial adicional: el aprovechamiento de residuos del arbolado urbano derivados del manejo y mantenimiento de áreas verdes, como podas programadas, derribo de árboles muertos o enfermos y renovación de parques y camellones. Este enfoque promueve la economía circular urbana, reduce costos de disposición de residuos y contribuye al uso eficiente de la biomasa, mostrando cómo el gradiente urbano-rural abre distintas oportunidades de aprovechamiento.



**Figura 4.** Horno rústico para producción de carbón a partir de madera de encino. Foto: RGM

El uso responsable de la biomasa puede contribuir a reducir la tala ilegal, prevenir incendios forestales, mitigar el cambio climático, disminuir la contaminación

del aire y generar empleos en comunidades rurales. Se estima que un incendio forestal puede consumir desde 58 Mg ha<sup>-1</sup> de biomasa en un bosque templado hasta 126 Mg ha<sup>-1</sup> en una selva tropical (van Leeuwen et al., 2014). Además, el aprovechamiento sustentable fomenta la soberanía energética y fortalece las economías locales.

## **¿CUÁNTA ENERGÍA LIBERA LA BIOMASA FORESTAL?**

La capacidad calorífica de la biomasa es la energía liberada al quemar la biomasa seca y se mide en MJ kg<sup>-1</sup>. Las hojas, corteza y madera de encino tienen una capacidad calorífica de 18 MJ kg<sup>-1</sup> (Orémusová et al., 2012). Los valores caloríficos de la leña, carbón y briquetas oscilan entre 13 MJ kg<sup>-1</sup> y 32 MJ kg<sup>-1</sup> (Bosire et al., 2023).

La leña y las briquetas liberan cantidades similares de energía, pero el poder calorífico del carbón es casi el doble que el de la leña, lo que lo hace ideal para usos que requieren altas temperaturas, como parrillas y forjado de metales. La cantidad de energía que aporta la madera depende de su contenido de carbono, densidad (dura o blanda) y humedad.

- Maderas duras como encino y mezquite liberan más energía y producen brasas duraderas, ideales para alimentos que requieren largas cocciones como el nixtamal y las tortillas (Martínez-Camilo et al., 2024).
- Maderas blandas como pino y oyamel generan menos energía y brasas menos resistentes.
- La humedad disminuye la eficiencia de combustión, ya que parte del calor se destina a evaporar el agua presente en el combustible (Tucho et al., 2023).

## **USO DE LA LEÑA EN EL GRADIENTE URBANO-RURAL**

El uso de la leña y carbón varía según el entorno:

- Zonas rurales: calefacción de viviendas, cocción de alimentos, calentamiento de agua, ceremonias, remedios medicinales, trabajo agrícola y elaboración de artesanías (CONABIO, 2020).

- Zonas periurbanas y urbanas: restaurantes, fondas, panaderías y comercio informal, donde se valoran por su bajo costo, disponibilidad y el sabor tradicional que aportan a los alimentos. También se emplean en actividades recreativas y culturales como asadores y ferias gastronómicas.

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, se identifican tres tipos de establecimientos de alimentos que usan leña (Díaz-Nigenda et al., 2021):

- Grandes franquicias con asadores eficientes.
- Establecimientos medianos con asadores semiestructurados en ladrillos.
- Pequeños negocios con asadores metálicos de menor tamaño.

## ESTUFAS AHORRADORAS PARA LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA

La forma más rudimentaria de aprovechamiento de la biomasa es mediante fogones tradicionales (Figura 5). Las estufas domésticas ecológicas aprovechan mejor el calor liberado por la combustión de la leña y representan una alternativa más eficiente y saludable en zonas rurales (UNAM, 2022).

En zonas urbanas y periurbanas, donde la leña o el carbón es fácil de adquirir, también se utilizan estas estufas. En contraste, las estufas de pellets se han diseñado principalmente para zonas residenciales urbanas, ofreciendo mayor automatización, rendimiento y menor mantenimiento (Sandro et al., 2019).



**Figura 5.** Estufas ecológicas de alta eficiencia térmica a partir de la combustión de leña. Foto: RGM

## PROBLEMAS DE SALUD POR LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA

Aunque la biomasa es una alternativa sustentable, su combustión ineficiente genera riesgos. Fullerton et al. (2008) señalan que la leña para cocinar contribuye a niveles muy altos de contaminación del aire doméstico, especialmente de partículas menores a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ). Este fenómeno se asocia a un mayor riesgo de muerte prematura por infecciones respiratorias agudas, enfermedades neonatales, pulmonares crónicas, cardiovasculares, neoplásicas y también a cataratas y diabetes (Carrillo-Arizmendi, 2025; Krittanawong et al., 2023). Los niños y las mujeres rurales son los más afectados por la exposición prolongada al humo.

En las ciudades también se generan emisiones: Díaz-Nigenda et al. (2021) cuantificaron emisiones de partículas  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  de  $27.30 \text{ t año}^{-1}$  y  $14.03 \text{ t año}^{-1}$ , respectivamente, por el uso de leña en restaurantes de comida rápida. Sumadas al smog del transporte y las fábricas, representan un riesgo latente para la salud de la población citadina.

## CONCLUSIONES

La biomasa de los árboles constituye una alternativa sustentable para la producción de energía y la diversificación de la matriz energética, al tratarse de un recurso renovable con alto potencial energético. Los bosques representan la principal fuente de biomasa vegetal a nivel global y su aprovechamiento puede contribuir a reducir la dependencia de los combustibles fósiles. En el gradiente urbano-rural, la biomasa forestal adquiere significados distintos pero complementarios: en las zonas rurales es un recurso vital para la vida cotidiana y la soberanía energética de las comunidades; en los espacios periurbanos se vincula a actividades productivas y comerciales que requieren soluciones intermedias y flexibles; mientras que en las ciudades se integra a proyectos de economía circular y generación eléctrica, aprovechando residuos de poda y mantenimiento de áreas verdes. Esta diversidad de usos muestra que la biomasa no solo es una fuente de energía, sino también un puente que conecta realidades sociales y territoriales. Cuando se aprovecha de manera responsable, la biomasa forestal puede contribuir a la mitigación del cambio climático, la prevención de

incendios forestales y el fortalecimiento de las economías locales, consolidándose como una opción clave dentro de las estrategias de desarrollo sostenible. En el caso de México, donde coexisten grandes metrópolis, zonas periurbanas en expansión y comunidades rurales con fuerte dependencia de la leña, la biomasa ofrece una oportunidad para diseñar políticas energéticas diferenciadas que respondan a las necesidades de cada contexto. Así, este recurso se convierte en un elemento estratégico para avanzar hacia una transición energética justa, resiliente y adaptada a la complejidad del gradiente urbano-rural.

### Agradecimientos

RGM agradece a la asociación de ingenieros forestales egresados del Tecnológico de Estudios Superiores de Valle de Bravo, por la información compartida relacionada con el aprovechamiento de los recursos forestales.

### Literatura citada

Abas, N.; Kalair, A.; Khan, N. (2015) Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures*, 69, 31–49. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2015.03.003>

Alvarado-Machuca, S.V.; Álvarez-Sánchez, E.; Maldonado-Torres, et al. (2018) *Consumo de leña en México: hábitos de uso, problemática asociada y alternativas sostenibles de solución*. En Álvarez-Sánchez, M.E.; Vázquez-Alarcón, A. (Coords.), *Agroforestería para la conservación de los recursos naturales y productividad* (pp. 64-87). Universidad Autónoma Chapingo.

Bosire, J.O.; Osano, A.M.; Oyaro, N.; Maghanga, J.K.; Forbes, P. (2023) Characterization of Selected Solid Fuels and Their Calorific Values in Kenya: A Case Study of Bomet, Narok, Taita-Taveta, and Mombasa Counties. *Chemistry Africa* 7, 1509–1522. <https://doi.org/10.1007/s42250-023-00811-3>

Carrillo-Arizmendi, L.; Pérez-Suárez, M.; García-Martínez, R. (2025) ¡Humo! ¡Alerta! La amenaza invisible de las quemas agrícolas. *Revista de Divulgación y Transferencia Tecnológica. Agraria*, 22(1), 5-9. <https://doi.org/10.59741/ttbar142>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020) *Combustible*.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Recuperado de <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/combustible>

Czisch, C.G. (2011) *Scenarios for a Future Electricity Supply: Cost-optimized variations on supplying Europe and its neighbours with electricity from renewable energies*. United Kingdom: Institution of Engineering and Technology (IET). <https://doi.org/10.1049/PBRN010E>

Díaz-Nigenda, E.; Vázquez-Morales, W.; Venegas Sandoval, A.; Morales-Iglesias, H.; Hernández Jiménez, S. (2021). Emisiones generadas por el consumo de leña y carbón en la preparación de comida rápida. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(2), 1-9. <https://doi.org/10.19136/era.a8n2.2962>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018) *The future of food and agriculture-Alternative pathways to 2050*. Rome. 224 pp.

Fullerton, D.G.; Bruce, N., Gordon, S.B. (2008) Indoor air pollution from biomass fuel smoke is a major public health concern in the developing world. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 102(9), 843–851. <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2008.04.028>

García-Ubaque, C.; Vaca-Bohorquez, M.L.; Talero, G.F. (2013) Aprovechamiento de biomasa peletizada en el Sector Ladrillero en Bogotá-Colombia: Análisis Energético y Ambiental. *Información Tecnológica*, 24(3), 115-120. <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v24n3/art13.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2018) *Nota técnica Módulo de Hogares y Medio Ambiente (MOHOMA)*. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/buletines/2018/GrfiaMdoAmte/MOHOMA2018\\_06.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/buletines/2018/GrfiaMdoAmte/MOHOMA2018_06.pdf)

Krittawong, C.; Qadeer, Y.K.; Hayes, R.B.; Wang, Z.; Thurston, G.D.; Virani, S.; Lavie, C.J. (2023) PM<sub>2.5</sub> and cardiovascular diseases: State-of-the-Art review. *International Journal of Cardiology. Cardiovascular Risk and Prevention*, 19, 200217. <https://doi.org/10.1016/j.ijcrp.2023.200217>

Macera, O.; Arias-Chalico, T.; Ghilardi, A.; Guerrero, G.; Patiño, P. (2010) *Estudio sobre la evolución nacional del consumo de leña y carbón vegetal en México 1990-2024 (incluyendo la metodología de cálculo)*.



Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en ecosistemas.

Martínez-Camilo, R.; Hernández-Rodríguez, J.P.; Grajales-López, G.J.; Martínez-Meléndez, N.; Martínez-Meléndez, M. (2024) Consumo de leña en fondas turísticas tradicionales en un paisaje biocultural del sureste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 30(3), 91-105. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2024.03.007>

Sandro, N.; Papadopoulos, A.; Radica, G.; Zanki, V.; Arici, M. (2019) Using pellet fuels for residential heating: A field study on its efficiency and the users' satisfaction. *Energy and Buildings*, 184, 193–204. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.007>

Soeder, D.J. (2025) Greenhouse Gas and Climate Change. In: *Energy Futures*. Springer, Cham, pp. 97–141. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-83603-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-83603-9_5)

OpenAI. (2026) Representación de la composición química de la energía de biomasa. [Imagen generada por inteligencia artificial]. Copilot. <https://copilot.microsoft.com/>

Orémusová, E., Makovická, I., Osvald, A. (2012) Gross calorific value of leaves, bark, and branches of selected deciduous trees. *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava*, 2(1), 32-36. <https://core.ac.uk/download/pdf/10671959.pdf>

Rondeux, J. (2010) Medición de árboles y masas forestales. Madrid: Mundi-Prensa.

Tucho, B.G.; Etefa, H.F.; Kumar, V.; Raba, G.A.; Efa, M.T.; Dejene, F.B. (2023) Effect of wood moisture content on the performance of wood burning cook stoves. *International Journal of Sustainable Engineering*, 16(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/19397038.2022.2159568>

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (15 de junio de 2022). Estufas de leña mejoradas. Obtenido de Ecotec: <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/estufas-de-leña-mejoradas>

van Leeuwen, T.T.; van der Werf, G.R.; Hoffmann, A.A.; et al. (2014) Biomass burning fuel consumption rates: A field measurement database. *Biogeosciences*, 11(24), 7305–7329. <https://doi.org/10.5194/bg-11-7305-2014>

**Aviso legal/Nota del editor:** Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

