

Estado del arte del análisis de sustentabilidad de la leña como combustible

René D. Martínez-Bravo ¹, Alfredo F. Fuentes-Gutiérrez ^{2,*}

¹ Laboratorio de Bioenergía, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM. Morelia, Michoacán Ciudad, Estado, México

² Unidad de Ecotecnologías, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, UNAM. Morelia, Michoacán Ciudad, Estado, México

* Autor de correspondencia: afuentes@cieco.unam.mx; Tel.: +5244 3377 9220

Área de participación (Desarrollo Sustentable. Otros relacionados con el DS). Ponencia Virtual.

Recibido: 3 de mayo de 2023 Aceptado: 27 de junio de 2023 Publicado: 23 de noviembre de 2023

Resumen: Actualmente existe un fuerte interés de investigación sobre la sustentabilidad de los biocombustibles, sin embargo, la mayoría de los estudios se centra en los biocombustibles líquidos (etanol y biodiesel). El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión exhaustiva sobre las tendencias de investigación respecto a los análisis de sustentabilidad de la leña como biocombustible sólido. El análisis buscó identificar las dimensiones de sustentabilidad que con los que se abordan los estudios sobre la leña para reconocer cuales son las que presentan mayor fortaleza y cuáles son las que han sido poco abordadas desde los análisis realizados. La revisión se hizo mediante "Scholar Google" y "Scienedirect" con palabras claves en español y en inglés, además se hizo una depuración de los primeros resultados mediante dos criterios de selección y se incorporó la tecnología de uso final de la leña con propósitos energéticos. Se obtuvieron inicialmente 91 documentos que cumplieron con las especificaciones. Posteriormente de utilizar criterios de refinamiento se recopilaron 61 documentos que cumplieron los requisitos. A nivel de análisis, destacó la dimensión del manejo ambiental, donde los resultados señalan que el 50% de las publicaciones están dirigidas a la evaluación de la oferta y disponibilidad de biomasa para leña. La dimensión social representa el 21%, dividida entre lo social, salud, empleo y uso de tecnología mejorada en las estufas. La dimensión económica representó el 17% de los trabajos analizados. Además, se encontró que el 10% de los trabajos analizados reportan metodologías de análisis. El resultado demuestra que el análisis de la sustentabilidad de la leña es vigente dentro de los análisis de sustentabilidad de las energías renovables y cobra especial interés al identificar que el 10% de estos fueron realizados en México.

Palabras clave: Biomasa; leña; criterios e indicadores; manejo sustentable, biocombustibles.

State of the art of the sustainability analysis of firewood as fuel

Abstract: There is currently strong research interest in the sustainability of biofuels, however, most studies focus on liquid biofuels (ethanol and biodiesel). The objective of this work was to carry out an exhaustive review of the research trends regarding the sustainability analysis of firewood as a solid biofuel. Based on the question of what are the dimensions of sustainability that are addressed in the sustainability analyzes of firewood as fuel? In the end, it is intended to identify the dimensions with the greatest strength and which are those that have been little addressed since the analyzes carried out. A review was made through "Scholar Google" and "Scienedirect" with keywords in Spanish and English, in addition, a purification of the first results was made through two selection criteria and the technology for the final use of firewood for energy purposes was incorporated. Initially, 91 documents that met the specifications were obtained. After using refinement criteria, 61 documents that met the requirements were collected. At the level of analysis, he highlighted the dimension of environmental management, where the results indicate that 50% of the publications are aimed at evaluating the supply and availability of biomass for firewood. The social dimension represents 21%, divided between the social, health, employment and use of improved technology in stoves. The economic dimension represented 17% of the works analyzed. In addition, it was found that 10% of the papers analyzed report analysis methodologies. The analysis of the sustainability of firewood is current in the sector, since of the works identified, 10% of them were carried out in Mexico.

Keywords: Biomass; firewood; criteria and indicators; sustainable management, biofuels.

Introducción

Debido al incremento de los impactos ambientales y económicos de los combustibles derivados del petróleo, varios países del mundo, sobre todo europeos y asiáticos, muestran un fuerte interés de investigación y de desarrollo tecnológico (IDT) para obtener biocombustibles a partir de la biomasa (REN21 2017). Los esfuerzos de IDT se han centrado principalmente en la producción industrial de etanol, biogas y biodiesel por lo que es muy frecuente que la expresión "biocombustibles" haga referencia solo estos tipos, también llamados "biocombustibles modernos o avanzados" (Sandoval 2010), lo que le da a ambos términos un carácter de sinónimos. Sin embargo, es necesario recalcar que existen otras formas de la materia que se presentan como biocombustibles como son los sólidos (leña

carbón) y sólidos procesados (Pellets, briquetas y astillas) (Tauro *et al.*, 2018). La leña, se puede señalar como el ejemplo insignia de los “biocombustibles sólidos”.

El uso de la leña como combustible se remonta al manejo del fuego por el hombre prehistórico, primero para protección y calefacción; segundo para cocinar y ahumar sus alimentos. Su preferencia depende de la tarea energética, pero básicamente se usa para calentar agua y espacios y para cocinar (Masera *et. al.*, 2005). En el caso del cocinado la preferencia de leña, involucra aspectos culturales, como usos y costumbres culinarias tradicionales que reflejan el vínculo de la gente con su entorno, con el bosque y sus recursos (Kim *et al.*, 2017; García-Burgos 2007). Pero esta relación también se ve condicionada por la facilidad con que se accede al recurso, la disponibilidad del mismo o su menor costo con respecto a otras alternativas energéticas (Serrano-Medrano *et al.*, 2014).

A nivel mundial, aproximadamente 3 mil millones de personas dependen de la biomasa como combustible primario para la cocción de alimentos (Anenberg, 2012; Martin, Glass, Balbus, & Collins, 2011). De acuerdo a la SENER (Sener, 2021), el consumo de leña en México en el sector residencial, comercial y público fue de 245.59 PJ, esto conlleva a que aproximadamente 23 millones de personas en el país dependan de la leña para satisfacer sus necesidades energéticas, cuyo consumo promedio se ha determinado de 2.5 a 3 kg (m.s.) por día por habitante (Serrano-Medrano, Arias-Chalico, Ghilardi, & Masera, 2014; Berrueta *et al.*, 2008), o dicho de otra manera, 3.4 millones de hogares usan la leña para satisfacer la necesidad energética de cocción de alimentos (Bello-Román, *et al.*, 2023; Quiroz-Carranza *et al.*, 2009).

Al ser los bosques los principales proveedores de la materia prima para la producción de biocombustibles sólidos a nivel mundial especialmente de leña (FAO 2018, FAO 2012) y ante la presión inminente como recurso energético renovable, esta re-valoración del recurso natural hace imperativo que se regulen y establezcan reglas claras de manejo de biomasa bajo esquemas de aprovechamiento sustentable en la producción y la provisión de materia prima mediante una cadena de suministros, asequible, equitativa y estratégica, para que los bosques bien manejados tengan un papel clave respecto a las demandas bioenergéticas que se avecinan y que su gestión no vaya en detrimento de la biodiversidad, de su capacidad para capturar carbono y de los otros servicios ecosistémicos (Martínez-Bravo y Masera, 2021; FAO, 2018). La SEMARNAT (2000) hizo un intento de regulación de la leña a través de la NOM-012-SEMARNAT-1996, de la cual derivó el instructivo para el aprovechamiento de leña en comunidades rurales, el cual ha tenido poco impacto debido al desconocimiento de su existencia.

Un aspecto importante del manejo de la biomasa para biocombustibles es evaluar la sustentabilidad de toda la cadena de suministro (Tauro *et al.*, 2018). Aspectos relacionados a los límites del sistema permiten conocer los componentes biológicos, de transformación y transporte, de formas de uso y finalmente de disposición de desechos (Sacramento *et al.*, 2022). De esta manera, se pueden generar criterios e indicadores para evaluar la sustentabilidad del recurso de cada uno de sus parámetros a considerar como son en lo social, económico y ambiental, porque, aunque existen experiencias que en su conjunto evalúan algunos aspectos relacionados con la sustentabilidad de la leña, no se cuenta aún con bases y directrices que nos permitan evaluarla de la misma forma para obtener resultados comparables.

No pasa lo mismo con los “biocombustibles en general” (principalmente etanol y biodiesel), donde existen estudios como el de Buytaert *et al.*, (2011) que muestran avances en la herramienta de evaluación de sostenibilidad para los sistemas de bioenergía. En el estudio mencionado se elaboró una lista exhaustiva de aspectos de sostenibilidad pertinentes, basada en los requisitos de sostenibilidad de los sistemas de bioenergía mencionados en la bibliografía.

El manejo sustentable de la leña depende de un balance combinado de gobernanza, leyes efectivas e incentivos particulares para los locatarios (usuarios). El adecuado manejo de la leña puede convertirse en una fuente de energía amigable, renovable, socialmente aceptada y puede ser ampliamente distribuida.

Entonces el objetivo de este trabajo fue el de investigar a partir de la literatura publicada y disponible en internet cuales son las dimensiones, criterios e indicadores que se han publicado para el análisis de sustentabilidad de los biocombustibles sólidos en especial para la leña.

Materiales y Métodos

La búsqueda bibliográfica se realizó mediante "Scholar Google y "Sciedirect" con las siguientes palabras clave: fuelwood, firewood, analysis, sustainability, criteria, management, biomass, biofuel. Las mismas palabras clave traducidas al español fueron incluidas en la búsqueda. No se realizó un filtro como intervalo de tiempo debido a que el tema del manejo de la leña bajo criterios de sustentabilidad ha aparecido en diferentes momentos a nivel internacional.

Con cada motor de búsqueda se desplegaron más de 20 páginas con resultados en cada caso. A cada uno de los resultados se les aplicó un criterio de selección para depurar y destacar la información relevante. Está consistió en: a) priorizar las publicaciones en formato de artículos de investigación con acceso al formato en PDF. b) selección de títulos en los que aparecieran más de dos palabras clave y que éstas tuvieran un contexto correlacionado con las siguientes palabras clave:

- "Sustainable fuelwood"
- "Analysis of sustainability"
- "Biomass management"
- "Indicators fuelwood"
- "Biomass sustainable"
- "Criteria and Indicators Biofuels"

Para ampliar el tamaño de la muestra en la búsqueda, se incorporó la tecnología de uso final de la leña con propósitos energéticos. Para ello, se añadieron las siguientes palabras clave:

“Improved cookstoves, cookstoves, sustainability y analysis”

Resultados y Discusión

Se obtuvieron 91 documentos que cumplieron con las especificaciones para ser descargados. De estos, mediante la aplicación de criterios de refinamiento, se recopilaron 78 publicaciones que cumplieron con los objetivos planteados. Cabe señalar que algunas publicaciones abordaron más de una dimensión de sustentabilidad, por lo que la suma total indicada en el Cuadro 1, no necesariamente corresponde al número de publicaciones recopiladas.

Los materiales seleccionados, fueron analizados para identificar las dimensiones de la sustentabilidad que incluían en su respectivo análisis. Por su diseño, los trabajos presentaron diferentes formatos y en algunos casos se mencionaban diferentes aspectos de cada una de las dimensiones de sustentabilidad mismas que por su relevancia fueron agrupadas por tendencias de estudio. En concordancia con el año de su publicación, algunos de los trabajos carecieron de algún método de evaluación de la sustentabilidad, aunque la palabra persistía en su título y tenía menciones en el cuerpo de texto. En la Tabla 1 se enumeran los casos analizados, mismos que se ajustan a los contextos de sustentabilidad que fueron descritos.

De los resultados destaca que sólo se localizaron tres documentos que refieren específicamente a criterios e indicadores de sustentabilidad para leña; estos son los de la FAO (2009), FAO (2008) y Lattimore *et al.*, (2009). El resto de los documentos presentados en la Tabla 1, refieren a biomasa y otros biocombustibles. Por otro lado, en la Figura 1 se puede apreciar que, dentro de las tendencias de estudio de las dimensiones de sustentabilidad de la biomasa y los biocombustibles, es la disponibilidad de la biomasa u oferta la tendencia con mayores estudios reportados alcanzando 26 menciones. Por el lado contrario, las tendencias relacionadas a la dimensión social son las menos reportadas, tal es el caso de la salud con 5 y el empleo con 2 menciones. Estas junto con la tendencia de cadenas logísticas que sólo reportó 3 menciones completan las tendencias menos reportadas.

Tabla 1. Resumen de las dimensiones de sustentabilidad mencionadas en las publicaciones analizadas.

Dimensión de sustentabilidad	Tendencia de estudio	# Menciones	Referencia
Ambiental	Cadena logística	3	Pierobon <i>et al.</i> , 2015. Kaygusuz, 2010. Frombo <i>et al.</i> , 2009. Ghilardi <i>et al.</i> , 2016. Quizoz-Carranza y Pierobon <i>et al.</i> , 2015. May, 2013. Burgos <i>et al.</i> , 2012 Coates, 2012. González-Martínez, 2012. Angelis-Dimakis, <i>et al.</i> , 2011. Makapo, 2010. Kyriakopoulos <i>et al.</i> , 2010. Kyriakopoulos <i>et al.</i> , 2010b. Orellana, 2010.
	Manejo Disponibilidad/Oferita/ Recursos	26	Quiroz-Carranza y Walker <i>et al.</i> , 2010 Alfonso <i>et al.</i> , 2009 Burgos <i>et al.</i> , 2009 Chalikias <i>et al.</i> , 2009 Favreau <i>et al.</i> , 2008 Stupak <i>et al.</i> , 2007. Caldentey, 2006. McKay, 2006. Soares, 2006. Goldemberg y Teixeira, 2004 Wahlund <i>et al.</i> , 2004 Hall, 2002. Nuñez, 1992. Correa y Niño. <i>s/f</i>
	Reducción de CO ₂ e		Brandelet <i>et al.</i> , 2017 Pierobon <i>et al.</i> , 2015. Kurka <i>et al.</i> , 2012. Démurger y Fournier., 2010 Makapo, 2010. Kaygusuz, 2010. Walker <i>et al.</i> , 2010 Ashraf S. y Starr M., 2008. Favreau <i>et al.</i> , 2008. Wahlund <i>et al.</i> , 2004
	Deforestación	10	Schueftan <i>et al.</i> , 2016 Kurka <i>et al.</i> , 2012. Démurger y Fournier., 2010 Kyriakopoulos <i>et al.</i> , 2010. Kyriakopoulos <i>et al.</i> , 2010b. Walker <i>et al.</i> , 2010 Chalikias <i>et al.</i> , 2009 Favreau <i>et al.</i> , 2008. González-Martínez, 2007. McKay, 2006. Caldentey, 2006. Wahlund <i>et al.</i> , 2004 Hall, 2002. Nuñez, 1992.
Económico	Rentabilidad/costos	14	Schueftan <i>et al.</i> , 2016. Burgos <i>et al.</i> , 2012 Quiroz-Carranza y Orellana, 2010 Burgos <i>et al.</i> , 2009 Soares, 2006 McKay, 2006. Hall, 2002. Nuñez, 1992.
Social	Salud	5	Schueftan <i>et al.</i> , 2016. Burgos <i>et al.</i> , 2012 Quiroz-Carranza y Orellana, 2010 Burgos <i>et al.</i> , 2009 Soares, 2006
	Empleo	2	McKay, 2006. Hall, 2002. Njoh, 2017.
	Tecnología	10	Khandelwal <i>et al.</i> , 2017. Arora <i>et al.</i> , 2016. Timko and Kozak, 2016. Dora <i>et al.</i> , 2015. Simon <i>et al.</i> , 2014. Raman <i>et al.</i> , 2014. Urmee <i>et al.</i> , 2014. Maseri <i>et al.</i> , 2005. Boy <i>et al.</i> , 2000.
Metodologías de análisis	Evaluación	8	Kurka & Blackwood, 2013. Buytaert <i>et al.</i> , 2011. Stupak <i>et al.</i> , 2011. Lattimore <i>et al.</i> , 2009. Sheinbaum <i>et al.</i> , 2009. Stupak <i>et al.</i> , 2007. Galván, 2004. Horta, FAO. 2009
TOTAL		78	

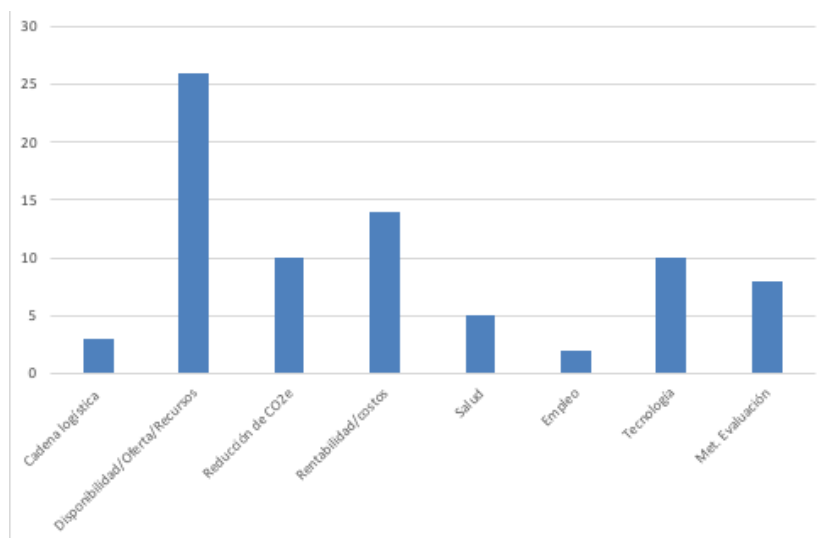


Figura 1. Tendencias de estudio en las dimensiones de la sustentabilidad de la biomasa

Respecto al índice de mención de las dimensiones de la sustentabilidad de la biomasa como bicomcombustible, en la Figura 2 se puede observar en porcentajes, las menciones de cada uno de los principios. De acuerdo a este resultado la dimensión ambiental es la más mencionada en la literatura consultada con un 50%. Le sigue la dimensión social con un 22% y la dimensión económica con un 19%.

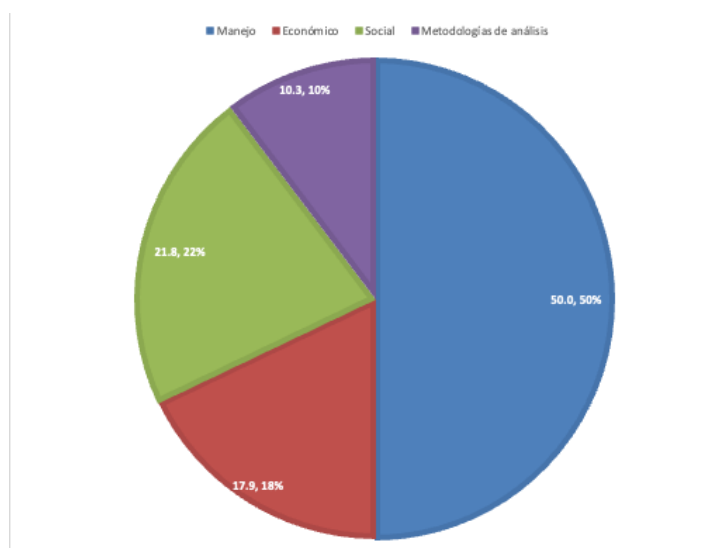


Figura 2. Índice de mención de las dimensiones de la sustentabilidad de la biomasa para energía

A nivel de análisis de la dimensión de la sustentabilidad, destacó la dimensión del manejo (ambiental). Los resultados señalan que el 50% de las publicaciones están dirigidas a la evaluación de la oferta y disponibilidad de biomasa para leña. La preocupación mayor en lo concerniente al uso de los recursos forestales con propósitos energéticos, está centrada en la resiliencia de los recursos naturales y su disponibilidad a largo plazo. El estudio de esta dimensión ha perdurado en el tiempo ya que el primer trabajo identificado data de 1992, mientras que el último se reportó en 2015.

Tras el análisis realizado, la dimensión social destaca como el segundo nivel de importancia en la sustentabilidad. Está representada por 22% del total. Este porcentaje está dividido entre los componentes salud, empleo y uso de la tecnología mejorada en las estufas. En los últimos años la relación que hay entre la combustión de la leña y la exposición de los humos de que se emiten, han cobrado un interés relevante en materia de salud. La tercera dimensión de sustentabilidad evaluada fue la económica, misma que representó el 18% de los trabajos analizados. Como puede

interpretarse, el modelo económico visto como “negocios derivados del manejo de la leña del bosque” empieza a despertar interés para impulsar proyectos energéticos con materia prima forestal o en proyectos de mitigación de carbono y obtención de certificados de reducción de emisiones.

En lo concerniente al reporte de metodologías de evaluación de la sustentabilidad de la biomasa para propósitos energéticos, se pudo constatar que la primera publicación se realizó en 2004 y la más reciente fue localizada para el año 2013. Los trabajos que reportan metodologías de análisis representan el 10% del total presentado en el Cuadro 1.

Por autores destacan los grupos encabezados por Stupak y Kyriakopoulos (Stupak *et al.*, 2007 y 2011; Kyriakopoulos *et al.*, 2010 y 2010b) cuyos resultados abarcan varios criterios de sustentabilidad, condición que hace a sus investigaciones más robustas y completas.

Conclusiones

La exploración con los motores de búsqueda de la Internet, son una herramienta valiosa en para localizar, identificar y acceder a la información histórica y reciente de los tópicos sobre biocombustibles y biomasa, así como para el análisis de los indicadores y criterios de sustentabilidad con los que se evalúa el desempeño de los mismos.

El análisis de sustentabilidad que se aplica al aprovechamiento y uso de la biomasa como biocombustible sólido, dejó claro que para su estudio se consideran los tres pilares de la sustentabilidad, las cuales, de acuerdo a esta investigación van desde la evaluación de la oferta y la productividad forestal (dimensión ambiental), pasando por las dimensiones sociales y económicas, hasta la implementación de metodologías ajustadas a la aplicación de criterios para el análisis de la sustentabilidad de los sistemas de producción y uso de biomasa para energía. En este sentido, la revisión efectuada es un precedente de la importancia que la incorporación del análisis de sustentabilidad representa para la valoración de los biocombustibles en el contexto de ser considerados como una alternativa para reducir los impactos ambientales y de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, respecto a los combustibles derivados de hidrocarburos.

Los resultados, aunque no demostraron muchas publicaciones sobre la sustentabilidad y la leña, dejaron claro que en México la investigación sobre diversos aspectos de la leña es un tema vigente en el sector, ya que de los trabajos identificados el 10% de ellos fueron realizados en alguna parte de la geografía nacional.

Agradecimientos y financiamiento: Este trabajo fue parte del Clúster de Biocombustibles Sólidos (CBS) del Centro Mexicano de Innovación en Bioenergía (Cemie-Bio), financiado a través del Fondo de Sustentabilidad Energética del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología: SENER-CONACYT 2014-246911.

Bibliografía

- Anenberg, S. (2012). Technology: Clean stoves benefit climate and health. *Nature*, 490(7420), 343. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1038/490343e>
- Bello-Román, M., A. García-Flores, H. Colín-Bahena, E. Román-Montes de Oca, L. Beltrán-Rodríguez. 2023. Variación en el consumo de leña y facores que lo determinan en una comunidad campesina al suroeste del estado de Morelos, México. *Botanical Sciences*, 101(1): 149-163.
- Berrueta, V., R. Edwards and O. Masera. 2008. Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico. *Renewable Energy* 33:859-870.
- Buytaert, V., B. Muys, N. Devriendt, L. Pelkmans, J.G. Kretschmar, R. Samson, (2011), Towards integrated sustainability assessment for energetic use of biomass: A state of the art evaluation of assessment tools, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, Issue 8, Pages 3918-3933, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.036>.
- FAO. 2018. El estado de los Bosques del Mundo 2018. Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC_SA 3.0 IGO
- FAO, 2012. Wood energy. www.fao.org/forestry/energy/en/
- García-Burgos, M.G. 2007. Caracterización del manejo de encinos y evaluación de la regeneración vegetativa de una de las especies preferidas para la leña en la comunidad de Ajuno, Pátzcuaro, Michoacán, México. Posgrado en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental Maestría).
- Kim, L.T.T., J.D. Nichols, K. Brown. 2017. Firewood extraction and use in rural Vietnam: a household model for three in Ha Tinh province. *Agro forest Syst.* 91: 649-661.
- Kyriakopoulos, G., Kolovos, K. G., & Chalikias, M. S. (2010). Environmental sustainability and financial feasibility evaluation of woodfuel biomass used for a potential replacement of conventional space heating sources. Part II: A combined Greek and the nearby Balkan countries case study. *Operational Research*, 10(1), 57–69. <http://doi.org/10.1007/s12351-009-0034-x>

- Kyriakopoulos, G. L., Kolovos, K. G., & Chalikias, M. S. (2010). Woodfuels use for sustainable energy infrastructures' materialization. *Global Environmental Policies: Impact, Management and Effects*, (November), 59–80.
- Martin, W. J., Glass, R. I., Balbus, J. M., & Collins, F. S. (2011). A Major Environmental Cause of Death. *Science*, 334(6053), 180–181.
- Martínez-Bravo, R., O. Masera (editores) Capítulo 26 Bioenergía, en: Paz-Pellat, F.J., M Hernández-Ayón, R. Sosa-Ávalos, A.S. Velázquez-Rodríguez. 2021. Estado del Ciclo del carbono. Agenda azul y verde. Programa Mexicano del Carbono. Texcoco, Estado de México. ISBN: en trámite.
- Masera, O. R., Díaz, R., & Berrueta, V. (2005). From cookstoves to cooking systems: the integrated program on sustainable household energy use in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 9(1), 25–36. [http://doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60480-9](http://doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60480-9).
- Quiroz- Carranza, J., C. Cantú-Gutiérrez, R. Díaz-Jiménez, R. Orellana-Lanza. 2009. Uso de leña en Yucatán y tecnología para su aprovechamiento sustentable. CICY, ISBN: 9789686532289
- REN21. 2017. Renewables 2017 Global status report. REN21 Secretariat, Paris.
- Sacramento, J.R., Mwampamba, T., Navarro-Pineda, F., Musule, R., García, C., Martínez-Bravo, R., Morales-García, A., Equihua-Sánchez, M., Fuentes-Gutiérrez, A., Gallardo-Álvarez, R., Ruiz-Camou, C., Grande-Acosta, G., Manzini, F., Islas-Samperio, J., Masera, O. 2022. A Methodological Framework for assessing the sustainability of solid biofuels systems. *Bioenergy Research*, Published open access. <https://doi.org/10.1007/s12155-021-10365-2>.
- Sandoval, J. 2010. Biocombustibles avanzados en México estado actual y perspectivas. Cuadernos temáticos sobre Bioenergía 2. REMBIO Imagia, México.
- SEMARNAT, 2000. Instructivo para el aprovechamiento de la leña en comunidades rurales. CONAFOR/SEMARNAT, Puebla.
- SENER, 2021. Balance Nacional de Energía 2021. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética. Dirección General de Planeación e Información Energéticas. SENER, México.
- Serrano-Medrano M., T. Arias-Chalico, A. Ghilardi, O. Masera. 2014. Spatial and temporal projection of fuelwood and charcoal consumption in Mexico. *Energy for Sustainable Development*, 19, 39-46.
- Stupak, I., Asikainen, A., Jonsell, M., Karlton, E., Lunnan, A., Mizraite, D., ... Tamminen, P. (2007). Sustainable utilisation of forest biomass for energy-Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries. *Biomass and Bioenergy*, 31(10), 666–684. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.06.012>
- Stupak Inge, I., Lattimore, B., Titus, B. D., & Tattersall Smith, C. (2011). Criteria and indicators for sustainable forest fuel production and harvesting: A review of current standards for sustainable forest management. *Biomass and Bioenergy*, 35(8), 3287–3308. <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.11.032>.
- Tauro, R., M. Serrano-Medrano, O. Masera. 2018. Solid biofuels in Mexico: a sustainable alternative to satisfy the increasing demand for heat and power. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 20: 1527-1539.