



Evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos en Honduras

Raúl J. Tauro
José Luis Caballero
Miguel Ángel Salinas
Adrián Ghilardi
José Manuel Arroyo



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

 www.cepal.org/es/publications

 www.cepal.org/apps



Evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos en Honduras

Raúl J. Tauro
José Luis Caballero
Miguel Ángel Salinas
Adrián Ghilardi
José Manuel Arroyo



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Este documento fue elaborado por Raúl J. Tauro, José Luis Caballero, Miguel Ángel Salinas y Adrián Ghilardi de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y José Manuel Arroyo, Oficial Asociado de Asuntos Económicos de la Unidad de Energía y Recursos Naturales, de la sede subregional de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en México.

Se agradece la retroalimentación de Víctor Hugo Ventura, Jefe de la Unidad de Energía y Recursos Naturales, a Manuel E. Rojas y Eugenio Torijano, Funcionarios de dicha Unidad, por proveer los gráficos, estadísticas y comentarios sobre el sector energético de Honduras; y a Fynn Matthis Schmidt por el apoyo otorgado en la recolección y procesamiento de parte de la información estadística utilizada en este documento. Los resultados de este estudio se derivan de la consultoría para la elaboración de la plataforma geoespacial para la evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos en los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), como parte del proyecto ROA 312-9A: 14/15BD “Fortaleciendo las capacidades de los países centroamericanos en la preparación de políticas y estrategias energéticas sostenibles”.

Se agradece a las instituciones de Honduras que facilitaron la información que fue utilizada en este documento, incluyendo la Secretaría de Estado en el Despacho de Energía (SEN), la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente+), el Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) y la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH). Asimismo, se agradece la revisión y comentarios de los funcionarios Jorge Chi Ham y Jorge Cárcamo, bajo la supervisión de Diana L. Solís, Directora de Energía Renovable y Eficiencia Energética de la Secretaría de Estado en el Despacho de Energía (SEN).

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de esta publicación no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Notas explicativas:

- La coma (,) se usa para separar los decimales.
- La palabra “dólares” se refiere a dólares de los Estados Unidos, salvo cuando se indique lo contrario.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/MEX/TS.2021/31
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2021
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago

Esta publicación debe citarse como: R. J. Tauro y otros, *Evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos en Honduras* (LC/MEX/TS.2021/31), Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen.....	7
Abstract.....	9
Presentación.....	11
Introducción.....	15
Capítulo I	
Marco conceptual.....	21
A. ¿Qué es la biomasa?.....	21
B. La biomasa sólida como recurso energético.....	23
C. Biomasa tradicional frente a biomasa moderna.....	24
Capítulo II	
Análisis del perfil de país para el aprovechamiento energético de la biomasa.....	25
A. Energía.....	25
1. Subsector eléctrico.....	26
2. Sector hidrocarburos.....	30
3. Consumo de leña en los hogares (biomasa tradicional).....	31
B. Uso de suelo y producción agropecuaria y silvícola.....	34
1. Uso de suelo.....	34
2. Producción agropecuaria.....	34
3. Producción silvícola.....	37
C. Población, población ocupada y pobreza.....	39
Capítulo III	
Metodología.....	43
A. Definición del potencial energético de los recursos biomásicos.....	43
B. Recursos biomásicos considerados para la evaluación del potencial energético.....	44
C. Metodología de la selección de la base espacial.....	44

D.	Metodología para la determinación de la oferta de recursos biomásicos.....	45
1.	Metodología para la determinación de la oferta de subproductos del aprovechamiento y la industria forestal.....	45
2.	Metodología para la determinación de la oferta de plantaciones forestales dedicadas.....	46
3.	Metodología para la determinación de la oferta proveniente del aprovechamiento de bosques nativos.....	46
4.	Metodología para la determinación de la oferta proveniente de cultivos dedicados.....	46
E.	Metodología para la determinación de la demanda de mediana y alta potencia.....	47
Capítulo IV		
Resultados de las estimaciones de la oferta potencial de biomasa.....		51
A.	Biomasa forestal.....	51
1.	Subproductos del aprovechamiento y de la industria forestal.....	52
2.	Plantaciones forestales dedicadas.....	52
3.	Aprovechamiento de bosques nativos.....	54
B.	Biomasa de residuos agropecuarios.....	59
C.	Cultivos dedicados.....	59
1.	Fuente.....	59
Capítulo V		
Oferta potencial de biomasa y análisis de la producción actual de electricidad.....		63
A.	Oferta potencial de biomasa.....	63
B.	Análisis de la producción actual de electricidad a partir de biomasa.....	64
Capítulo VI		
Conclusiones y reflexiones finales.....		67
A.	Biomasa forestal.....	67
1.	Residuos forestales, de la industria forestal y aprovechamiento de plantaciones forestales.....	67
2.	Aprovechamiento de bosques nativos.....	68
B.	Biomasa agropecuaria.....	69
C.	Otros residuos biomásicos sólidos.....	70
D.	Reflexiones finales.....	70
Bibliografía.....		75
Anexos.....		83
Anexo 1	El uso de leña y carbón vegetal a pequeña escala.....	84
Anexo 2	Modeling Fuelwood Savings Scenarios (MoFuSS)/ Modelado de Escenarios de Ahorro de Leña.....	89
Anexo 3	Estructura del sector energético en Honduras.....	95
Cuadros		
Cuadro I.1	Ejemplos de biomasa sólida.....	22
Cuadro II.1	Honduras: plantas de biomasa que generan electricidad.....	28
Cuadro II.2	Honduras: principal fuente de energía para cocinar del total de los hogares.....	31
Cuadro II.3	Honduras. Principal fuente de energía para cocinar de los hogares urbanos.....	33
Cuadro II.4	Honduras: principal fuente de energía para cocinar de los hogares rurales.....	33

Cuadro II.5	Honduras: uso de suelo, 1992-2017	34
Cuadro II.6	Honduras: volumen de producción silvícola	38
Cuadro II.7	Honduras: población total según sexo, 1990-2030	39
Cuadro II.8	Honduras: estructura poblacional por grupos de edad, 1990-2030	39
Cuadro II.9	Honduras: distribución porcentual de la población en áreas urbana y rural, 1990-2030	40
Cuadro II.10	Honduras: estructura de la población ocupada por sector de actividad económica, 2001-2018	40
Cuadro II.11	Honduras. Población en situación de pobreza extrema y pobreza según área geográfica, 2001-2018	41
Cuadro III.1	Contenido de humedad y coeficientes para los diferentes recursos biomásicos considerados	48
Cuadro IV.1	Honduras: potencial energético de subproductos de la extracción forestal y la industria maderera	52
Cuadro IV.2	Honduras: potencial para la producción de madera para energía a partir de plantaciones forestales	54
Cuadro IV.3	Honduras: potencial teórico de existencias y productividad de combustibles de madera provenientes de bosques naturales	58
Cuadro IV.4	Honduras: potencial técnico de biomasa proveniente de bosques naturales	58
Cuadro IV.5	Honduras: potencial para la producción de etanol y biodiésel	62
Cuadro V.1	Honduras: potencial técnico de recursos biomásicos para uso energético considerados en este estudio	64
Cuadro V.2	Poderes caloríficos considerados para calcular los potenciales energéticos de recursos biomásicos considerados en este estudio	64
Cuadro V.3	Honduras: producción de electricidad mediante biomasa	65
Cuadro VI.1	Honduras: aprovechamiento reportado de leña, 2014-2018	68
Cuadro VI.2	Honduras: potencial energético de recursos biomásicos y equivalencias	71

Gráficos

Gráfico II.1	Honduras: consumo final de energía, 1990-2018	26
Gráfico II.2	Honduras: capacidad de generación de electricidad, 1990-2018	27
Gráfico II.3	Honduras: generación de electricidad, 1990-2018	27
Gráfico II.4	Honduras: consumo de derivados del petróleo, 1990-2018	30
Gráfico II.5	Honduras: consumo de leña de los hogares, 1990-2017	31
Gráfico II.6	Honduras: producción de los principales cultivos agrícolas, 1990-2017	35
Gráfico II.7	Honduras: cultivos con mayor superficie cosechada, 1990-2017	36
Gráfico II.8	Honduras: existencias de ganado, 1990-2017	36

Recuadros

Recuadro 1	Gestión sustentable de los recursos biomásicos y externalidades positivas	16
Recuadro II.1	Honduras. Uso de leña para cocinar en fogones tradicionales y efectos negativos en las mujeres	32

Mapas

Mapa IV.1	Honduras: áreas con potencial teórico para plantaciones de eucalipto con fines energéticos	53
Mapa IV.2	Honduras: distribución espacial de la accesibilidad de la biomasa proveniente de bosques naturales	55

Mapa IV.3	Honduras: distribución espacial de la accesibilidad de la biomasa proveniente de matorrales	56
Mapa IV.4	Honduras: distribución espacial de la accesibilidad de la biomasa proveniente de manglares	57
Mapa IV.5	Honduras: área potencial para el cultivo de caña de azúcar	60
Mapa IV.6	Honduras: área potencial para el cultivo de palma de aceite	61

Resumen

En este documento se presenta el cálculo del potencial técnico de la energía que se puede obtener en Honduras a través de ciertos tipos de biomasa. Los potenciales fueron estimados utilizando la plataforma geoespacial para la evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) ([sitio web] www.wegp.unam.mx/sicabioenergy), una iniciativa de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) que se lleva a cabo en colaboración con el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Asimismo, se analizan diversos aspectos energéticos, demográficos, sociales, agropecuarios y de uso de suelo que se consideran importantes para la toma de decisiones en el uso de la bioenergía.

Los resultados obtenidos indican que existe un gran potencial para aprovechar los recursos biomásicos considerados (subproductos del aprovechamiento y de la industria forestal, plantaciones forestales dedicadas, bosques nativos y cultivos dedicados), que podrían sustituir, en parte, a otras fuentes de energía no renovables de Honduras. Finalmente, se reflexiona sobre las oportunidades y retos que supone utilizar los recursos analizados y de otros tipos de biomasa que podrían ser utilizados para generar energía.

Abstract

This document presents the technical potential of the energy that can be obtained in Honduras through certain types of biomass. The potentials were estimated using the geospatial platform for the assessment of the energy potential of biomass resources in the countries of the Central American Integration System (SICA) ([website] www.wegp.unam.mx/sicabioenergy), an Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC) initiative carried out in collaboration with the Research Center on Environmental Geography (CIGA) of the National Autonomous University of Mexico (UNAM). The document also analyzes various energy, demographic, social, agricultural and land use aspects that are considered important for decision-making when considering the use of bioenergy.

The results obtained indicate that there is a great potential for the use of the biomass resources considered (forest industry and harvesting by-products, dedicated forest plantations, native forests, and dedicated crops), which could substitute, in part, other non-renewable energy sources in Honduras. Finally, the opportunities and challenges involved in the use of the analyzed resources and other types of biomass that could be used for energy generation are discussed in the final reflections.

Presentación

La energía es esencial en todas las actividades de la sociedad. Las energías modernas permiten iluminar espacios, cocinar alimentos, calentar agua, bombear agua y hacen posible el funcionamiento de aparatos como la televisión, la radio, los teléfonos celulares, las computadoras, los módems para internet, las lavadoras, las secadoras y muchos otros aparatos eléctricos y electrónicos. Además, gracias a la energía es posible utilizar el transporte motorizado, medio por el que las personas pueden trasladarse más rápidamente de un lugar a otro para realizar diversas actividades, incluyendo el comercio de mercancías mediante vehículos terrestres, acuáticos y aéreos.

Sin embargo, de acuerdo con información oficial de las Naciones Unidas (SDG Indicators Database), en 2019 un 10% de la población mundial no contaba con acceso a electricidad y un 34% de la población mundial no utilizaba, primariamente, tecnologías y combustibles limpios para cocinar. En el caso de Honduras, de acuerdo con información de la CEPAL con base en datos oficiales de 2020, el 14,3% de la población hondureña no cuenta con acceso a electricidad, mientras que la información oficial de las Naciones Unidas (SDG Indicators Database) estimaba que en 2019 un 55% de la población no utilizaba, primariamente, tecnologías y combustibles limpios para cocinar.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas reconoce la importancia de la energía en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 en sus tres metas: la meta 1, que busca alcanzar la universalización de los servicios modernos de energía; la meta 2, que pretende aumentar la participación de las energías renovables en la matriz energética mundial; y la meta 3, que busca lograr un mejor uso de la energía a través de una mayor eficiencia energética.

Todas las fuentes de energía tienen impactos negativos sobre el medio ambiente, tanto los combustibles fósiles como las fuentes de energía renovables. Si bien los daños ocasionados por los combustibles fósiles son mucho mayores que los impactos negativos de las energías renovables sobre el medio ambiente, puesto que sus externalidades negativas no solo se reducen a los sitios donde se genera la energía, sino que se extienden a todos los

lugares donde se utiliza efectivamente la energía derivada de los combustibles fósiles, las energías renovables también pueden generar externalidades negativas en los sitios donde se genera la energía, por ejemplo, uso de tierra y afectaciones a la vida silvestre en el caso de la energía eólica, pérdida de hábitats naturales y uso de agua en lo que respecta a la energía solar (UCS, 2013a) y la desaparición de hábitats naturales y tierras agrícolas cuando se inundan tierras para construir represas con la finalidad de generar energía hidráulica (UCS, 2013b), entre otras posibles afectaciones ambientales.

La bioenergía, dependiendo del tipo de recurso utilizado para su generación y la forma en que se produce y se recolecta, también puede generar afectaciones en la tierra e incluso emisiones de gas de efecto invernadero (GEI) si no se realiza una gestión sustentable de la bioenergía y si no se identifican adecuadamente los lugares de extracción del recurso, los lugares para cultivos y plantaciones y los tipos de recursos biomásicos más apropiados (Wu y otros, 2018). Como cualquier fuente de energía renovable, la mitigación de los impactos ambientales negativos del ciclo de vida de la bioenergía dependerá de la gestión sustentable del recurso, que en el caso de la biomasa debe considerar el mantenimiento de suelos sanos, la racionalización del uso de agua, la mitigación de la contaminación del aire, el agua y el clima y la protección de la biodiversidad (UCS, 2021), además de que las tecnologías utilizadas para su conversión en energía deberán ser eficientes y limpias.

Sin embargo, al igual que otros recursos renovables para generar energía, la biomasa producida de manera sustentable, incluyendo plantaciones y cultivos energéticos, los residuos agropecuarios, los residuos agroindustriales y forestales, y los residuos municipales, entre otros recursos biomásicos, puede contribuir a aumentar la participación de las energías renovables en la matriz energética de los países y por ende a la meta 2 del ODS 7 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y contribuir a la disminución del uso de combustibles fósiles (principales emisores de CO₂ y metano), además de que, en el caso del biogás producido mediante desechos orgánicos provenientes de basureros municipales y del estiércol de ganado, es posible contribuir a los compromisos de reducción del metano, gas que tiene un potencial de 28 a 34 veces más alto que el CO₂ de favorecer el calentamiento global (CEPE, 2021).

Asimismo, existe un amplio potencial para crear empresas y empleos asociados a la producción, recolección, procesamiento, transporte y distribución de los recursos biomásicos para ser utilizados como energía, particularmente en las áreas rurales. Por otra parte, es importante recordar que, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible de Río de Janeiro, Brasil (Río+20), celebrada en junio de 2012, los Estados miembros adoptaron el documento *El futuro que queremos* con la finalidad de elaborar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que conformarían la Agenda 2030. En este documento se reconoce “la importancia de los datos basados en la tecnología espacial, el seguimiento *in situ* y la información geoespacial fidedigna para la formulación de políticas, la programación y las operaciones de proyectos de desarrollo sostenible” (pág. 81).

Así, la Iniciativa de las Naciones Unidas sobre la Gestión Global de la Información Geoespacial (UN-GGIM, por sus siglas en inglés) reconoce que los tomadores de decisiones, hacedores de políticas y planificadores de los niveles más altos de gobierno deberán ser capacitados y tener acceso a herramientas simples e intuitivas que les permitan manipular la información para interpretarla y para resolver problemas sin que sea siempre necesaria la intervención de especialistas.

La dispersión espacial de los recursos biomásicos dificulta su pleno aprovechamiento por lo que, atendiendo a la necesidad de aumentar las fuentes renovables de energía y a la posibilidad de contar con una herramienta que pueda ser utilizada por los tomadores de

decisiones en la planificación de la bioenergía, la Unidad de Energía y Recursos Naturales de la sede subregional de la CEPAL en México apoyó la elaboración de la plataforma geoespacial denominada Sistema Estadístico y Geográfico para la Evaluación del Potencial Energético de los Recursos Biomásicos en los Países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) en el marco del Proyecto ROA 312-9A - 14/15BD: "Fortalecimiento de la capacidad de los países de América Central en la elaboración de las políticas y estrategias de energía sostenible". Entre 2017 y 2018, con el apoyo técnico del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se desarrolló la plataforma que está alojada en el Laboratorio Nacional de Síntesis Ecológica (LANASE) de la UNAM, debido a la capacidad de procesamiento y almacenamiento de sus servidores.

Los resultados de este estudio se derivan de dicha plataforma geoespacial y pretenden contribuir a la planificación de la bioenergía en Honduras, país que actualmente utiliza diversos recursos biomásicos en la cogeneración y en la producción de electricidad, pero que tiene un amplio potencial para aumentar la participación de la bioenergía moderna en su matriz energética. Los recursos analizados en este documento incluyen los residuos de la industria forestal, las plantaciones forestales, los cultivos dedicados y los bosques nativos. En el caso de este último recurso, se excluyen las partes de los árboles y arbustos que se destinan a usos no energéticos (madera para aserrar, para construcción, celulosa y papel, entre otros), que se deducen aplicando un coeficiente y se supone el uso energético de los bosques como complemento y no como uso exclusivo.

En lo que respecta a los ejemplos de plantaciones forestales y cultivos dedicados utilizados en este trabajo, se trata de ejercicios hipotéticos de referencia utilizando especies con alto potencial energético y para las que se contaba con información; sin embargo, en la práctica deberá analizarse qué especies para plantaciones y cultivos energéticos son idóneas para cada locación, tomando en cuenta las características del lugar, la viabilidad económica y, por supuesto, las consideraciones ambientales pertinentes, incluyendo la expansión de monocultivos en amplias extensiones de tierra y la conservación y recuperación de la cobertura forestal.

En ningún caso se pretende que el aprovechamiento de los recursos biomásicos (por ejemplo, a través de la extracción de recursos forestales, plantaciones forestales o cultivos dedicados) se haga a costa de la disminución de la cobertura forestal y el deterioro de los ecosistemas. Utilizar de manera adecuada los recursos biomásicos implica aprovechar desechos (por ejemplo, los residuos de la industria forestal) y utilizar de manera óptima los recursos biomásicos potenciales, incluyendo los forestales y los cultivos dedicados, mediante una gestión sostenible (véase el recuadro 1 en la Introducción) y el uso de tecnologías limpias y eficientes a base de biomasa para un aprovechamiento adecuado de la bioenergía.

Asimismo, en los potenciales de bioenergía calculados en este documento no se toma en consideración su viabilidad económica, esto es, aspectos tales como costos de producción, mercado potencial y competencia con otras fuentes de energía. A pesar de dichas limitaciones, los potenciales técnicos de bioenergía derivados de este documento constituyen un apoyo importante para la toma de decisiones informada de la planificación energética de Honduras y una referencia técnica para la posible implementación de proyectos asociados a la producción de bioenergía proveniente de diversos recursos biomásicos en apoyo a la meta 2 del ODS 7 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. En ese sentido, la plataforma geoespacial de la que se derivan los resultados de esta evaluación ha sido presentada y discutida con las instituciones del sector energético de ese país y se espera que en el futuro se convierta en una de las herramientas utilizadas en la formulación y revisión de políticas, planes y programas de desarrollo de la bioenergía.

Introducción

La biomasa es toda materia de origen orgánico (vegetal o animal), en tanto que la bioenergía es la energía obtenida por medio de la transformación y uso de la biomasa. La biomasa puede ser utilizada como combustible para generar calor y electricidad (bioenergía), por ejemplo, la leña es usada en la cocción de alimentos, las excretas animales son usadas para producir biogás y el bagazo de la caña de azúcar es utilizado para cogenerar electricidad y para producir etanol, un tipo de biocombustible.

Como todos los tipos de recursos energéticos renovables, la biomasa puede generar impactos ambientales positivos o negativos, dependiendo de la gestión del recurso y las tecnologías utilizadas para su aprovechamiento. El manejo responsable de los recursos biomásicos para la producción de energía puede generar externalidades positivas sobre el medio ambiente, además de proveer beneficios socioeconómicos para las comunidades donde se recolectan los recursos.

El impacto (positivo o negativo) sobre el medio ambiente dependerá, por una parte, de la tecnología utilizada para procesar el recurso biomásico y convertirlo en energía y, por otra parte, las externalidades para el medio ambiente dependerán, cuantitativa y cualitativamente, de cómo se produce y gestiona el recurso biomásico. De ahí que el aprovechamiento responsable de los recursos biomásicos requiere de una gestión sustentable del recurso que podrá tener como resultado externalidades positivas para el medio ambiente y la sociedad en general (véase el recuadro 1).

Existe un enorme potencial para el aprovechamiento energético de la biomasa; no obstante, evaluar la magnitud y la disponibilidad de los recursos biomásicos para uso energético es una tarea compleja debido a su amplia y dispersa distribución en el espacio geográfico, la producción estacional y sus diferentes características fisicoquímicas. Para lograrlo, es conveniente desarrollar sistemas de información capaces de evaluar la disponibilidad de estos recursos, su localización geográfica, su régimen de propiedad y sus limitaciones para uso energético (por accesibilidad, competencia por otros usos, condiciones legales o económicas). Por ello, se reconoce en general que el desarrollo de metodologías capaces de estimar las existencias de recursos y el potencial de producción de bioenergía es prioritario para promover el aprovechamiento sostenible de la biomasa.

Recuadro 1**Gestión sustentable de los recursos biomásicos y externalidades positivas**

La gestión sustentable de los recursos biomásicos requiere utilizar tecnologías limpias y eficientes que permitan mitigar los gases generados en la conversión de la biomasa a energía y racionalizar el uso del recurso, en contraste con las tecnologías tradicionales a base de biomasa, como fogones abiertos y estufas y hornos sin chimenea, que pueden ser ineficientes y contribuir a la emisión de gases tóxicos y contaminantes, además de que tienen un impacto negativo sobre la salud de las personas. La mayor eficiencia y limpieza de la bioenergía dependerá, pues, de los procesos físicos, bioquímicos y termoquímicos utilizados para la conversión de los recursos biomásicos en energía.

Asimismo, la gestión sustentable de los recursos biomásicos implica evaluar los posibles impactos ambientales de la producción de biomasa. Al igual que la producción sustentable de cualquier bien agroforestal, la obtención de biomasa mediante cultivos energéticos dedicados y plantaciones forestales requiere de una gestión adecuada de los recursos naturales, lo que implica tomar en cuenta los siguientes puntos (UCS, 2021):

- Mantener suelos saludables
- Gestionar adecuadamente el uso del agua
- Minimizar la contaminación del aire, agua y clima
- Promover la biodiversidad

En lo que respecta a la agricultura, como señala la UCS (2021), los sistemas más sustentables y productivos son más diversos y complejos, por lo que las prácticas agrícolas sustentables deben incluir, por ejemplo:

- Cultivos intercalados (diversidad de cultivos en una misma área para evitar los monocultivos) y rotaciones multianuales de cultivos para mantener los suelos saludables y combatir plagas.
- Cultivos de cobertura para evitar la erosión de suelos, la recuperación de nutrientes de los suelos y mitigar la maleza.
- Reducir o eliminar la labranza para reducir la erosión y mejorar los nutrientes de los suelos.
- Hacer una gestión integral de plagas mediante métodos que reduzcan el uso de pesticidas químicos.
- Integrar cultivos y ganado a fin de mantener a los animales cerca de donde se produce su alimento y a los cultivos cerca del fertilizante de estiércol.
- Agroforestería para incluir árboles y arbustos que brindan protección a los cultivos, al ganado y a los recursos acuíferos.
- Gestionar sistemas y paisajes enteros (áreas no cultivadas o cultivadas de manera menos intensiva) para controlar la erosión, reducir la pérdida de nutrientes, apoyar la polinización y promover la biodiversidad.

La silvicultura sostenible debe seguir, entre otros, los siguientes principios (Rainforest Alliance, 2016):

- Conservar la biodiversidad de los bosques, sus recursos hídricos, suelos, flora y fauna y establecer áreas protegidas donde se prohíba la tala de árboles.
- Proteger los bosques naturales contra la deforestación y salvaguardar los bosques de alto valor de conservación, esto es, aquellos bosques con una gran biodiversidad, que contienen ecosistemas raros o en peligro de extinción, que proveen servicios ecosistémicos críticos o son fundamentales por razones económicas o culturales para ciertas comunidades.
- Implementar planes de manejo forestal que especifiquen la cantidad de árboles que se pueden cosechar por hectárea y la frecuencia de cosecha, tomando en cuenta las tasas de crecimiento y regeneración de los árboles.
- Establecer plantaciones forestales en tierras ya deforestadas o degradadas que contribuyan a aliviar la presión sobre los bosques naturales.
- Utilizar técnicas de tala de impacto reducido para disminuir el daño sobre otros árboles y para minimizar la erosión, los desechos y las emisiones de carbono.

Los principios para una agricultura y una silvicultura sustentables son especialmente aplicables en el caso de los cultivos dedicados para la producción de energía y en el caso de las plantaciones forestales energéticas, sin embargo, el mantenimiento de suelos saludables, la gestión del agua, la reducción de la contaminación y la protección de la biodiversidad deben estar considerados en la gestión de cualquier tipo de recurso biomásico para generar bioenergía y en la gestión de cualquier recurso energético renovable.

Una gestión sustentable de los recursos biomásicos para producir energía puede contribuir a disminuir el consumo de combustibles fósiles y aumentar la diversidad de fuentes de energía renovables y limpias, además de contribuir al desarrollo económico de las comunidades donde se genera la biomasa, particularmente de las áreas rurales. En el siguiente cuadro se presentan algunas de las externalidades positivas para el medio ambiente por el uso de biomasa con fines energéticos.

Externalidades positivas derivadas de la gestión sustentable de los recursos biomásicos utilizados para producir bioenergía

Recurso biomásico	Externalidades positivas para el medio ambiente (con gestión sustentable)	Otras externalidades positivas
Residuos de bosques nativos	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de las emisiones de GEI (Blinn y otros, 2019). - La remoción de residuos forestales puede reducir el riesgo de incendios forestales (Zamora y Blinn, 2019). - La eliminación de desechos en descomposición contribuye a disminuir las emisiones de metano (Cleaves, 2021). 	<ul style="list-style-type: none"> - A diferencia de la bioenergía proveniente de algunos biocombustibles, no compete por el uso de tierras para producción de alimentos (Carrasco-Díaz y otros, 2019). - Son relativamente abundantes y su recolección puede ser de bajo costo, brindando beneficios económicos para las comunidades donde se recolecta el recurso (Carrasco-Díaz y otros, 2019).
Biomasa y coberturas leñosas de bosques nativos	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de CO₂ al usarse como sustituto de combustibles fósiles (Hall, 2003). 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso energético como complemento de los usos y destinos de la explotación forestal.
Residuos de la industria forestal	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de las emisiones de GEI (Blinn y otros, 2019). - Los residuos madereros disminuyen la necesidad de utilizar otros recursos forestales al utilizar materiales que podrían ser simplemente desechados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Beneficios económicos por el aprovechamiento energético de un recurso que hubiera sido simplemente desechado.
Plantaciones forestales	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene potencial de mitigación de CO₂ (Larson y otros, 1995 y Di Vita y otros, 2017). - Reforestación de tierras degradadas (Larson y otros, 1995). 	<ul style="list-style-type: none"> - Creación de empleos en áreas rurales (Larson y otros, 1995).
Cultivos energéticos	<ul style="list-style-type: none"> - Tiene potencial de mitigación de CO₂ (Larson y otros, 1995 y Di Vita y otros, 2017). - Posibilidad de utilizar tierras degradadas para reducir la competencia por tierras para producir alimentos y con fines energéticos (Larson y otros, 1995). 	<ul style="list-style-type: none"> - Creación de empleos en áreas rurales (Larson y otros, 1995).
Residuos agrícolas	<ul style="list-style-type: none"> - Disminuyen la necesidad de utilizar más tierras al aprovecharse los desechos de cultivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Beneficios económicos por el aprovechamiento energético de un recurso que hubiera sido simplemente desechado. - En algunos casos, si el recurso no tiene demanda como energético puede ser usado para otros fines no energéticos (CINAM, 2017).
Residuos pecuarios, otros desechos orgánicos y residuos sólidos urbanos	<ul style="list-style-type: none"> - Posibilidad de reducir las emisiones de metano (EESI, 2017). - Su conversión en biogás puede evitar la contaminación de aguas superficiales y subterráneas al eliminar ciertos patógenos y sustancias químicas presentes en los desechos (EESI, 2017). 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de riesgos de salud pública por los patógenos presentes en los desechos orgánicos y disminución de malos olores (EESI, 2017). - El digestato, residuo de la biodigestión, puede ser utilizado como fertilizante, lecho de ganado y enmiendas para suelos (EESI, 2017).
Bioenergía gestionada de manera sustentable	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de emisiones de GEI si son utilizados como sustitutos de los combustibles fósiles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de la dependencia de combustibles fósiles. - Creación de empleos relacionados con la recolección, producción, procesamiento, transporte y distribución de recursos biomásicos con fines energéticos.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de C. Blinn, D. Zamora y E. Taylor, "Climate change and carbon sequestration", *Wood-Energy* [en línea] <https://wood-energy.extension.org/climate-change-and-carbon-sequestration>; G. Carrasco-Díaz y otros, "A technical and socioeconomic approach to estimate forest residues as a feedstock for bioenergy in northern Mexico", *Forest Ecosystems*, vol. 6, N° 45, 2019; Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C. (CINAM), *Evaluación del potencial de la biomasa como parte de la matriz energética de México*, Embajada Británica en México, 2017; B. Cleaves, "Biomass power improves forest health, benefits the environment", *Biomass Magazine*, 2021; G. Di Vita y otros, "A review of the role of vegetal ecosystems in CO₂ capture", *Sustainability*, N° 9, 2017; Environmental and Energy Study Institute (EESI), "Fact sheet. biogas: converting waste to energy" [en línea] <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogasconverting-waste-to-energy>; J. P. Hall, "Sustainable production of woody biomass for energy", paper submitted to the XII World Forestry Congress, Québec, 2003 [en línea] https://www.fao.org/3/xii/0077-A1.htm#P10_167; E. D. Larson, C. I. Marrison y R. H. Williams, "CO₂ mitigation potential of biomass energy plantations in developing regions", *PU/CEES Working Paper*, N° 138, Princeton University, 1995 y D. Zamora y C. Blinn, "Wildfire prevention and forest health", *Wood-Energy*, 2019.

La bioenergía continúa siendo la principal fuente de energía renovable en el nivel global, contribuyendo más del 12% (46 EJ) al consumo final de energía en 2017 (REN21, 2019). La mayor parte de la bioenergía proviene de la biomasa sólida, de la que el 60% se utiliza en el sector residencial para usos tradicionales¹, principalmente en zonas rurales y periurbanas. Alrededor del 40% restante se utiliza con tecnologías modernas, principalmente para producir calor industrial y residencial y, en menor medida, para generar energía eléctrica (REN21, 2019). En Centroamérica y el Caribe la biomasa se emplea principalmente en tecnologías tradicionales para cocinar alimentos y para calentar agua de uso residencial. Para estas tareas, el 92% de la población en Haití depende del uso de biomasa en dispositivos tradicionales, en tanto que en Honduras, Guatemala y Nicaragua más del 50% de la población utiliza estas tecnologías (REN21, 2017).

En los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) el uso de bioenergía tradicional, particularmente de leña, se concentra en el sector residencial (para cocción de alimentos) y en pequeñas industrias artesanales como tortillerías, panaderías y en la producción de cal, ladrillos y cerámica, predominantemente en las zonas rurales y entre la población de menores ingresos de zonas urbanas. El uso de leña ha disminuido notablemente en aquellos países del SICA donde los subsidios al gas LP han permitido un mayor uso de este energético. En lo que respecta a la bioenergía moderna, seis de los ocho países del SICA cogeneran electricidad con biomasa a una escala considerable, mayoritariamente utilizando bagazo de caña.

Para el caso de Honduras, existen pocos estudios que evalúen su potencial de bioenergía. Entre los estudios disponibles destaca el de Flores y otros (2010), en que se evalúa el potencial de bioenergía para incrementar su participación en la matriz energética. En dicho estudio se estima un potencial teórico para producir electricidad con bagazo de caña de azúcar que podría alcanzar los 163 MWe. También se estima que se necesitan 540.000 ha de cultivo de palma y 426.000 ha de *Jatropha* para cubrir el total de la demanda nacional de diésel. Además, si se aprovecharan los residuos generados de la producción de café, se podrían generar 16 MWe de electricidad.

Otro de los estudios destacados es el que realizó Calderón Amaya (2015) para el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) en el marco del Programa Adaptación al Cambio Climático en el Sector Forestal (CLIFOR). El estudio cuantifica la disponibilidad de biomasa forestal para generación eléctrica en diez zonas de Honduras priorizadas con base en la existencia de: i) bosques de pino, ii) líneas eléctricas y subestaciones para la interconexión y iii) infraestructura vial para transporte de biomasa. Se determinó que en las zonas priorizadas es posible generar 368 MW anuales a partir de biomasa forestal: 220 MW en bosques de pino fuera de planes de manejo, 65 MW en bosques de pino bajo planes de manejo y 83 MW en áreas de matorrales. La generación de electricidad se realizaría a partir de residuos de aprovechamiento o de madera proveniente del raleo de árboles jóvenes en el caso de los bosques de pino. En el caso de los matorrales, la generación de electricidad parte de la conversión de estas áreas en plantaciones energéticas en un período de diez años.

Actualmente existen en Honduras diversas plantas que generan energía utilizando bagazo de caña, efluentes de aceite de palma africana (biogás), pastos como el *king grass*, clon de caña común y residuos de madera. En 2017 la totalidad de las plantas a base de biomasa contaba con una capacidad instalada de 216 MWe. Asimismo, se sabe del aprovechamiento de residuos de otros recursos biomásicos a una menor escala, como en el caso del café (utilizado,

¹ Se entiende por uso tradicional de la biomasa la cocción de alimentos o la calefacción mediante leña, carbón vegetal y otros residuos agrícolas en dispositivos ineficientes (REN21, 2019).

por ejemplo, en el tratamiento de las aguas residuales para generar biogás), pero no se cuenta con cifras oficiales. Muchas de las plantas a base de biomasa que generan energía son parte del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto por el que Honduras ha recibido apoyo financiero y tecnológico por parte de países desarrollados a fin de contribuir a la mitigación de gases de efecto invernadero. Con la reducción de emisiones el país genera bonos de carbono, contribuyendo a cumplir sus compromisos ante el Protocolo de Kioto, por lo que tiene la posibilidad de venderlos en el mercado abierto. Según el CMNUCC (2019), entre los proyectos de bioenergía que han recurrido al MDL en Honduras se pueden citar los siguientes ejemplos:

- EECOPALSA – recuperación de biogás y generación de electricidad a partir de efluentes de aceite de palma aceitera (2006)
- Proyecto de captura de metano en la Cervecería Hondureña (2007)
- Proyecto de cogeneración en el ingenio Tres Valles (2007)
- Proyecto de cogeneración en ingenio de Inversiones Hondureñas (2007)
- Energéticos Jaremar – recuperación de biogás a partir de efluentes de la palma aceitera y generación de calor y electricidad (2008)
- Energía Ecológica de Palcasa, S.A. – Proyecto de biomasa de EECOPALSA (2009)
- Energía Limpia Jaremar – generación de energía térmica renovable a partir de biomasa (manojos vacíos de frutas) (2010)
- EECOPALSA – proyecto de expansión de biogás (2011)
- Exportadora del Atlántico, Ingenio de Aguán – recuperación de biogás a partir de efluentes de aceite de palma aceitera y uso del biogás (2011)
- Biogás y Energía – recuperación de metano y generación eléctrica a partir de efluentes de palma aceitera (2012)
- ERH – recuperación de biogás y generación de electricidad y calor a partir de efluentes (2012)
- Proyecto de gasificación ARIDEMA (2012)

Frente al creciente interés en el uso de bioenergía, el principal objetivo de este documento es contar con estimaciones estadísticamente robustas y espacialmente explícitas del potencial energético de una serie de recursos biomásicos disponibles en Honduras para la generación de calor y electricidad. Algunos de recursos biomásicos ya se utilizan con fines energéticos (por ejemplo, leña en el sector residencial, carbón vegetal en el sector comercial y el bagazo de caña en ingenios azucareros) y para otros usos no energéticos como alimento para ganado y abono para suelos, entre otros.

En este trabajo se realiza un análisis del potencial técnico del aprovechamiento de recursos biomásicos provenientes de la industria forestal, plantaciones forestales, bosques nativos y cultivos energéticos. Las estimaciones del equivalente de energía primaria de las diferentes fuentes de biomasa no contemplan los costos de producción (recolección, tratamiento, procesamiento, eficiencia de generación de energía, entre otros), cuestiones que es necesario contemplar para la viabilidad económica junto con la gestión sustentable del recurso en los sitios que se seleccionen para la obtención del recurso.

Las estimaciones de las existencias de este reporte se realizaron mediante la plataforma geoespacial denominada Sistema Estadístico y Geográfico para la Evaluación del Potencial Energético de los Recursos Biomásicos en los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA). Dicha plataforma, de la que se deriva este reporte, es una iniciativa conjunta de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas y del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La plataforma geoespacial puede consultarse en <http://wegp.unam.mx/sicabioenergy>.

El estudio se divide en seis capítulos. En el capítulo I, sobre el marco conceptual, se definen el concepto de biomasa, los tipos de residuos biomásicos y la biomasa como recurso energético. En el capítulo II se exponen algunos aspectos del perfil de país que pueden incidir en el aprovechamiento energético de los recursos biomásicos. En el capítulo III se expone la metodología para el cálculo del potencial energético de los recursos biomásicos. En el capítulo IV se describe el inventario de la biomasa. En el capítulo V se resumen los resultados de las estimaciones del potencial energético de los recursos biomásicos analizados en el estudio y se presenta información sobre la producción de electricidad mediante biomasa en Honduras. En capítulo VI se hacen algunas reflexiones y se presentan las conclusiones del documento. En el anexo 1 se incluye un análisis prospectivo del uso de leña y carbón vegetal a pequeña escala y en el anexo 2 se explica la metodología MoFuSS.

Capítulo I

Marco conceptual

A. ¿Qué es la biomasa?

La biomasa es todo tipo de material orgánico que tiene su origen en un proceso biológico, esto es, se trata de materia que proviene de plantas y animales (EIA, 2018a; FAO, 2018)². La biomasa está compuesta de una variedad de moléculas orgánicas de carbono que contienen hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y, en menor cantidad, otros elementos (Hanania y otros, 2020). El carbono de la biomasa tiene su origen en el dióxido de carbono (CO₂) absorbido por las plantas al utilizar la energía del sol en el proceso conocido como fotosíntesis (EIA, 2018a; Hanania y otros, 2020). La Unión Europea (2003) define a la biomasa como “la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales” (pág. 3). De acuerdo con su origen, la biomasa puede clasificarse en (Saura, 1981):

- i) Primaria: las plantas, esto es, la biomasa derivada directamente de la fotosíntesis.
- ii) Secundaria: es la que producen seres vivos como los animales herbívoros que se alimentan de biomasa primaria.
- iii) Residual: es la derivada de actividades con algún tipo de intervención humana en relación con la biomasa primaria (por ejemplo, residuos agrícolas) o sobre la biomasa secundaria (por ejemplo, el estiércol animal).

² Se excluyen las formaciones fósiles de las que se obtienen hidrocarburos que, aunque también son el resultado de un proceso biológico, este se generó hace millones de años (FAO, 2018; Cey y otros, 2019). La materia orgánica de la que provienen los hidrocarburos se generó, en su mayor parte, a partir de plancton, plantas y animales muertos hace aproximadamente 250 millones de años (Cey y otros, 2019). La biomasa, por su parte, proviene de organismos recientemente muertos (Hanania y otros, 2020).

En lo que respecta a su composición, la biomasa puede ser encontrada en la naturaleza principalmente en forma de biomasa sólida y biomasa líquida³. La biomasa líquida incluye la generada por aguas residuales con lodos de las plantas de tratamiento y por medio de la que se puede producir biogás y biomasa algal (AINIA, 2015) y la energía que se puede originar mediante orina⁴. La biomasa sólida puede ser clasificada en:

- Residuos forestales y de la industria forestal
- Residuos agrícolas y agroindustriales
- Residuos pecuarios, pesqueros y acuícolas
- Cultivos energéticos
- Residuos sólidos urbanos o municipales

En el cuadro I.1 se presentan algunos ejemplos de los diferentes tipos de biomasa sólida.

Cuadro I.1
Ejemplos de biomasa sólida

Residuos forestales y de la industria forestal	Leña, aserrín, burucha y residuos del papel
Residuos agrícolas y agroindustriales	Pulpa de café, cáscara del café, mucílago del café, bagazo de caña de azúcar, cachaza de caña de azúcar, melaza de caña de azúcar, residuos de campo de caña de azúcar, rastrojo de piña, corona de la piña, granza del arroz, cáscaras de diferentes cítricos, pinzote del banano, banano de rechazo, coquito de la palma africana, mesocarpio de la palma africana, fibra de pinzote de la palma africana, cascarilla del cacahuete, residuos de la cerveza, residuos de conservas de frutas, residuos de jugos, residuos de conservas vegetales, mazorcas y olotes, residuos de harina de maíz, residuos de harina de trigo, residuos de la levadura, bagazo de maguey o agave, residuos del ron, residuos del vino y la madera de cultivos frutícolas.
Residuos pecuarios, pesqueros y acuícolas	Excreta de establos y de la actividad pecuaria, excreta de centros de sacrificio animal, residuos de productos lácteos, residuos de pescado, residuos de conservas de pescado y residuos de mariscos.
Cultivos energéticos	Cultivos herbáceos como oleaginosas y cereales, y cultivos arbóreos o leñosos como acacia, eucalipto, pino y sauce.
Residuos sólidos urbanos	Papel, cartón, residuos de alimentos, residuos de pasto, hojas, madera y productos de cuero.

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de L. R. Chacón, O. Coto y O. M. Flores, *Actualización de la encuesta de biomasa como insumo para su incorporación en la matriz energética de Costa Rica*, Energía, Medio Ambiente y Desarrollo (EMA), 2018 [en línea] https://sepse.go.cr/documentos/Informe_Final_Actualizacion_Encuesta_Biomasa_SEPSE_CRUSA_EMA_2018.pdf; U.S. Energy Information Administration (EIA), "Biomass explained. Waste-to-energy (municipal solid waste)", 2018b [en línea] https://www.eia.gov/energyexplained/?page=biomass_waste_to_energy; C. A. García Bustamante y O. Masera Cerutti, *Estado del arte de la bioenergía en México*, Red Temática de Bioenergía (RTB) del CONACyT, 2016 [en línea] <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2020/12/6d95688b94fb96e56675c3ff6387225f-2.pdf>; A. López Mendiburu y Ó. Lumbreras, "Biomasa y cultivos energéticos", *Cuadernos de la Tierra*, Madrid, Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos (UPA), 2007; Red Mexicana de Bioenergía, A. C. (REMBIO), *La bioenergía en México: situación actual y perspectivas. Cuaderno temático N° 4* [en línea] <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf> y Escuela Agrícola Panamericana, *Bosques Energéticos. Una alternativa de solución para la falta de leña en los hogares* [en línea] https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1615/1/Bosques%20Energ%C3%A9ticos20130902_08530678.pdf.

³ En este documento solo se hace referencia al uso energético de la biomasa sólida y sus derivados (por ejemplo, el bioetanol y el biodiésel), por lo que cuando se hable de recursos biomásicos, se está hablando de recursos biomásicos sólidos, excluyendo a los provenientes de aguas residuales y orina.

⁴ Algunos estudios han demostrado que es posible generar electricidad utilizando orina como fuente de energía. Véase, por ejemplo, University of Bath (2016), "Urine turned into sustainable power source for electronic devices", *Science Daily* [en línea] www.sciencedaily.com/releases/2016/04/160418095918.htm.

Los cultivos energéticos son aquellas plantas herbáceas o arbóreas cultivadas exclusivamente para la producción de biomasa que se convierte en combustible para generar calor o electricidad (López Mendiburu y Lumbreras, 2007; FAO, 2004). Los cultivos herbáceos pueden ser plantas oleaginosas como cacahuete, girasol, palma aceitera, canola, soja y yuca; cereales como maíz, cebada, avena, sorgo y centeno, y otras plantas como *Miscanthus sinensis*, *Jatropha*, *king grass*, *Switch Grass* y cáñamo. Los cultivos arbóreos o leñosos incluyen especies como acacia, pino, eucalipto y sauce (López Mendiburu y Lumbreras, 2007). Dentro de los cultivos energéticos se incluyen los bosques energéticos, esto es, los bosques implantados para obtener leña que se utiliza para la generación de energía en forma de calor (Palomeque, Carcamo y Galer, 2016). Las características de estos bosques son crecimiento rápido, alta capacidad de rebrote y alto poder calorífico (López Mendiburu y Lumbreras, 2007; Escuela Agrícola Panamericana, 1998).

Además de las plantas que se utilizan para generar biocombustibles primarios (no procesados) como la leña, los cultivos energéticos incluyen las plantas que se destinan a la producción de biocombustibles secundarios (procesados). Los biocombustibles secundarios incluyen el etanol y el biodiésel. El etanol puede ser producido a partir de caña de azúcar, maíz, remolacha, sorgo dulce y trigo, en tanto que el biodiésel se puede generar a partir de copra del coco, ajonjolí, girasol, canola, cártamo, soya, linaza, mostaza, núcleo del cacahuete, plantas del género *Jatropha* (piñón), semilla del ricino, almendra y fruto de la palma africana, palmera burití, semilla de la sacha inchi y semilla de algodón (IICA, 2007; 2010). Por su parte, la biomasa de residuos sólidos urbanos (RSU) o residuos municipales incluye materiales como papel, cartón, residuos de alimentos, residuos de pasto, hojas, madera y cuero que son recolectadas por autoridades locales en los hogares, comercios, oficinas, instituciones públicas, en las calles y parques públicos (EIA, 2018b; Hoornweg y Bhada-Tata, 2012).

B. La biomasa sólida como recurso energético

Los recursos biomásicos sólidos pueden ser utilizados como energéticos para la generación de calor y electricidad, en la cogeneración (obtener simultáneamente calor y electricidad) y para la producción de otros biocombustibles. Los recursos biomásicos, vegetales o animales, precisan de ciertos tratamientos para obtener el energético adecuado que permita generar calor o electricidad o producir combustibles. De acuerdo con la FAO (2018), desde el punto de vista de las tecnologías de tratamiento del recurso biomásico para su posterior conversión a energía, la biomasa puede clasificarse en húmeda y seca. La biomasa húmeda es aquella que se obtiene con un porcentaje de humedad superior al 60%, en tanto que la biomasa seca es aquella que se obtiene con un porcentaje de humedad menor al 60%.

En el caso de la biomasa húmeda, el tratamiento para su uso posterior como energético puede llevarse a cabo mediante procesos físicos y bioquímicos. Los procesos físicos son el secado, troceado, densificado o compactado para obtener astillas, pellets⁵, briquetas⁶ o pacas⁷, y la recuperación con solventes para producir aceites vegetales que pueden ser utilizados como combustibles (FAO, 2018). Los procesos bioquímicos pueden ser mediante fermentación aeróbica y fermentación anaeróbica. La fermentación aeróbica se utiliza con la biomasa que tiene un alto contenido de azúcar para producir alcohol que puede ser utilizado como combustible (etanol) (FAO, 2018). La fermentación anaeróbica se lleva a cabo con residuos con una relación carbono/nitrógeno baja mediante de un biodigestor para producir biogás (FAO, 2018).

⁵ Unidades pequeñas de material compactado.

⁶ Bloques sólidos de material compactado.

⁷ Paquetes o fardos de material prensado.

En lo que respecta a la biomasa seca, existen diversos procesos termoquímicos que permiten usar el recurso como energético, incluyendo la combustión, la pirólisis, la gasificación y la licuefacción (FAO, 2018). Mediante la combustión se obtiene directamente energía térmica (calor), en tanto que con la gasificación se oxida la biomasa en un ambiente controlado y en presencia de oxígeno para obtener gas pobre (por su bajo contenido calórico en relación con el gas natural) (FAO, 2018). La pirólisis consiste en combustionar parcialmente la biomasa para obtener como producto principal carbón vegetal y subproductos líquidos y gaseosos (gas pobre) (FAO, 2018). La licuefacción se utiliza para obtener biocombustibles a partir de biomasa lignocelulósica y residuos sólidos urbanos (FAO, 2018).

C. Biomasa tradicional frente a biomasa moderna

La biomasa tradicional es la asociada al uso no sostenible y poco eficiente de la leña y el carbón vegetal como combustibles sólidos, principalmente para la cocción de alimentos (Goldemberg y Teixeira Coelho, 2004; REN21, 2019). La biomasa moderna, por otra parte, se distingue porque dentro de sus usos se incluye la generación de electricidad y calor para procesos productivos, combustibles para transporte y el uso de residuos agropecuarios y forestales y de desechos sólidos (Goldemberg y Teixeira Coelho, 2004), además de ser utilizada mediante tecnologías eficientes, incluyendo las estufas mejoradas (eficientes y limpias) que permiten usar menos leña para cocinar o cuyo energético es algún otro recurso biomásico (residuos agrícolas, forestales y de la industria forestal). El uso de leña y carbón vegetal no es necesariamente insostenible; su uso como energético puede no ser tradicional si se hace mediante tecnologías modernas más limpias y eficientes, por ejemplo, una estufa mejorada para cocción de alimentos en oposición a un fogón abierto.

Capítulo II

Análisis del perfil de país para el aprovechamiento energético de la biomasa

A. Energía⁸

El consumo final de energía de Honduras pasó de 97,8 petajoules⁹ en 1990 a 170,6 petajoules en 2018, presentando una tasa de crecimiento promedio anual del 2% en dicho período (véase el gráfico II.1). Entre 2010 y 2018, la tasa de crecimiento anual del consumo final de energía fue de 0,8%. La leña y los derivados del petróleo son los energéticos que han presentado mayor participación a lo largo del período 1990-2017, representando más del 80% del consumo final de energía. El recurso con mayor participación en el consumo final de energía de Honduras había sido la leña, aun cuando en los últimos años los derivados del petróleo han pasado a ocupar ese lugar. Para 2018, los derivados del petróleo representaban el 46,9% del consumo final de energía, en tanto que la leña representaba el 38,7%. La participación de la leña en el consumo final de energía¹⁰ ha disminuido significativamente entre 1990 y 2018.

La electricidad ha presentado un crecimiento de 5,6% promedio anual entre 1990 y 2018, pasando de una participación del 5,5% al 14,4% del consumo final de energía. El uso creciente de electricidad para cocinar (aproximadamente un 18% de los hogares, el nivel más alto de uso de electricidad para cocción de alimentos de los países del SICA, después de Costa Rica) se explica por las bajas tarifas de electricidad del país (las más bajas, en promedio, de los países del SICA) y por la alta proporción de consumo de electricidad que no es facturado (pérdidas no técnicas). Buena parte del consumo final de energía de Honduras ha recaído en los derivados del petróleo.

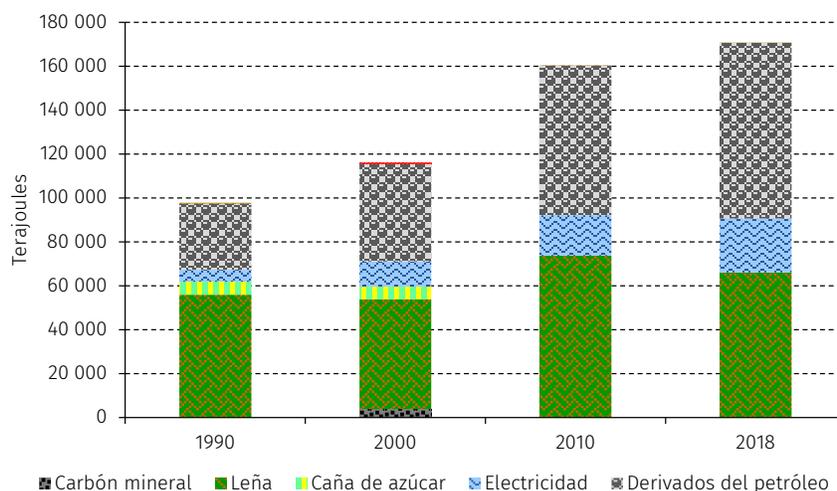
⁸ La organización del sector energético hondureño se presenta en el anexo 3.

⁹ 1 petajoule = 10¹⁵ joules = 163,456 barriles equivalentes de petróleo (BEP).

¹⁰ Es muy probable que el sector residencial sea el principal consumidor final de leña en Honduras, considerando que en 2016, casi el 50% de los hogares utilizaba leña como principal combustible para cocción de alimentos de acuerdo con la *Encuesta Permanente de los Hogares de Propósitos Múltiples de Honduras*.

La biomasa moderna (esto es, aquella producida de manera sostenible) puede ser un sustituto de los derivados del petróleo en la producción de electricidad y para la generación de calor en procesos industriales (como ya se hace en los ingenios azucareros utilizando bagazo de caña), contribuyendo a la disminución de las emisiones de CO₂.

Gráfico II.1
Honduras: consumo final de energía, 1990-2018
(En terajoules^a)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y de Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), sobre la base de Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe (sieLAC).

Nota: En menor medida el consumo final de energía también incluye carbón vegetal y otros energéticos.

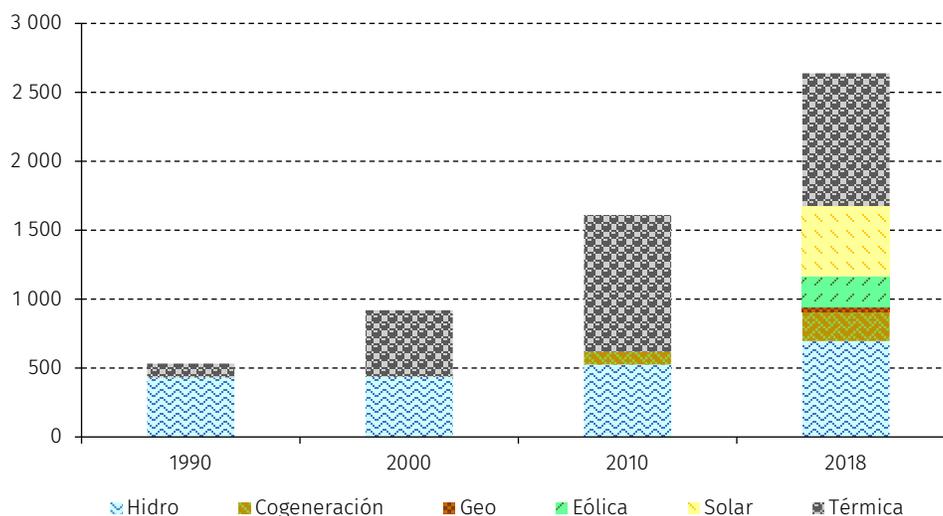
^a 1 petajoule = 1.000 terajoules.

1. Subsector eléctrico

La capacidad instalada para generar electricidad pasó de 532,6 MW en 1990 a 2.637,2 MW en 2018 (véase el gráfico II.2). En dicho período se observa un crecimiento promedio anual de 5,9%, no obstante, entre 2010 y 2018, la tasa de crecimiento fue del 6,4%, en parte explicado por el desarrollo de las fuentes renovables de energía (solar, eólica, geotermia y cogeneración). Antes de 2010, la capacidad instalada creció principalmente a base de plantas termoeléctricas.

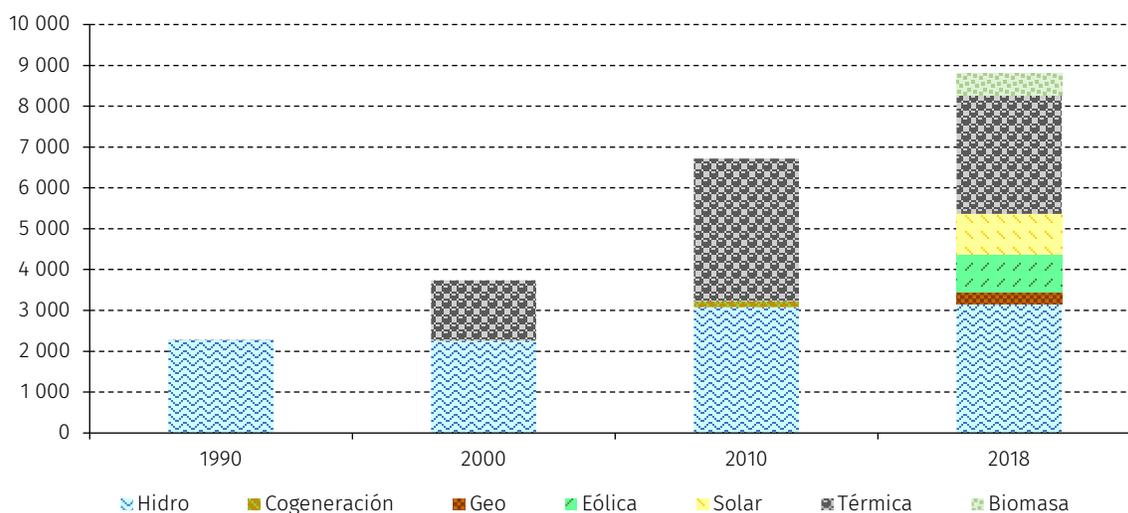
La generación neta de electricidad creció a una tasa anual del 4,9% entre 1990 y 2018, pasando de 2.283,6 GWh en 1990 a 8.809,6 GWh en 2018 (véase el gráfico II.3). El mayor ritmo de crecimiento (6%) sucedió principalmente entre 2000 y 2010, cuando la generación eléctrica estaba basada principalmente en derivados del petróleo. En el período 2010-2018, la tasa de crecimiento anual ha sido menor (3,4%). Pese a ello, la participación de las fuentes renovables en la generación de electricidad pasó de representar el 43,5% de la generación total en 2011 a 67% en 2018 (CEPAL, 2020). En este año las hidroeléctricas representaron el 35,7% de la generación total de electricidad en Honduras, en tanto que las energías renovables no convencionales generaron el 31,3% de la electricidad del país en ese año (CEPAL, 2020). En ese sentido, ha aumentado significativamente la participación de las fuentes de energía renovable no convencionales en la generación de electricidad, ya que en 2011 apenas representaba el 4,1% de la generación total de electricidad (CEPAL, 2020).

Gráfico II.2
Honduras: capacidad de generación de electricidad, 1990-2018
 (En MW)



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de cifras oficiales.

Gráfico II.3
Honduras: generación de electricidad, 1990-2018
 (En GWh)



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de cifras oficiales.

De acuerdo con cifras de CEPAL, la capacidad instalada de las plantas de biomasa¹¹ pasó de 92,3 MW en 2011 a 209,7 MW en 2018, en tanto que la generación total pasó de 174,9 GWh en 2011 a 538,8 GWh en 2018 (CEPAL, 2020). Los ingenios azucareros han generado una buena parte de la energía que utilizan en sus procesos y, en la última década del siglo pasado, comenzaron a mejorar sus procesos industriales para aprovechar el calor resultado de la combustión del bagazo de caña y también para generar electricidad, con la posibilidad de vender los excedentes a la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). De igual forma, han surgido

¹¹ Para producción de electricidad y calor (cogeneración).

plantas que utilizan otros residuos biomásicos para la cogeneración, como efluentes del aceite de palma africana, residuos de madera, *king grass* y clon de caña común. En el cuadro II.1 se muestran las empresas que participan en la producción de electricidad en el país de acuerdo con el tipo de biomasa que utilizan.

Cuadro II.1
Honduras: plantas de biomasa que generan electricidad

Nombre	Empresa	Producción	Biomasa utilizada
La Grecia	Pantaleón	Azúcar	Bagazo
Tres Valles	Compañía Azucarera Tres Valles (CATV)	Azúcar	Bagazo
CAHSA	Compañía Azucarera Hondureña, S. A. (CAHSA)	Azúcar	Bagazo
Azucarera del Norte, S.A. (AZUNOSA)	Inversiones Hondureñas, S. A. (IHSA)	Azúcar	Bagazo
SER Chumbagua	Grupo Pellas	Azúcar	Bagazo
CELSUR	Compañía Eléctrica del Sur (CELSUR)	Azúcar	Bagazo
Energía Ecológica de PALCASA, S. A. (EECOPALSA)	Palmas Centroamericanas, S. A. (PALCASA)	Aceite de palma	Efluentes del aceite de palma africana (biogás)
ACEYDESA	Aceites y Derivados, S. A.	Aceite de palma	Efluentes del aceite de palma africana (biogás)
PALMASA	Palmeros del Aguán, S. A.	Aceite de palma	Efluentes del aceite de palma africana (biogás)
Planta Extractora Leán y Valle del Aguán	Exportadora del Atlántico (Dinant)	Aceite de palma	Efluentes del aceite de palma africana (biogás)
B + E	Biogás y Energía, S. A.	Energía	Efluentes del aceite de palma africana (biogás)
Merendón Power Plant (MPP)	Fruit of the Loom, Inc.	Energía	<i>King Grass (Pennisetum Purpureum Schumach)</i>
HGPC	Honduras Green Power Corporation	Energía	<i>King Grass (Pennisetum Purpureum Schumach)</i>
Caracol Knits	Caracol Knits, S. A.	Textiles	<i>King Grass (Pennisetum Purpureum Schumach)</i> y Bio-G (clon de caña común)
YODECO	YODECO de Honduras, S. A.	Madera	Residuos de madera

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), *Boletín de datos estadísticos diciembre 2018, 2019*.

Honduras ha dado respaldo institucional a la generación de energía mediante fuentes renovables, incluyendo la biomasa. En ese sentido, mediante la Ley de Promoción a la Generación de Energía Eléctrica con Recursos Renovables (Decreto Núm. 70-2007), las personas naturales y jurídicas que desarrollen y operen proyectos de generación eléctrica y proyectos de cogeneración utilizando recursos naturales renovables nacionales, en los términos de dicha ley, podrán recibir beneficios como:

- i) exoneración del pago de impuestos sobre ventas en equipos, materiales y servicios relacionados con el establecimiento de plantas que utilicen recursos renovables para la generación de energía;

- ii) exoneración del pago de todos los impuestos, tasas, aranceles y derechos de importación en equipos, materiales, repuestos, partes y aditamentos relacionados con el establecimiento de plantas que utilicen recursos renovables nacionales para la generación de energía;
- iii) exoneración durante diez años del impuesto sobre la renta, aportación solidaria temporal, impuesto al activo neto e impuestos conexos a la renta en la operación comercial de proyectos de generación de energía con recursos renovables nacionales con capacidad instalada de hasta 50 MW;
- iv) los beneficios establecidos en la Ley de Aduanas con respecto a la importación temporal de maquinaria y equipos para la construcción y mantenimiento de proyectos de generación de energía mediante recursos renovables nacionales, y
- v) exoneración del impuesto sobre la renta y sus retenciones sobre los pagos de honorarios a personales naturales y jurídicas extranjeras contratadas para el establecimiento de proyectos de generación de energía mediante fuentes renovables nacionales.

Igualmente, las empresas privadas o mixtas que generen energía utilizando recursos renovables nacionales de manera sostenible pueden: i) realizar ventas directas de energía a grandes consumidores o empresas distribuidoras de energía eléctrica, si cuentan con aprobación de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE), y ii) realizar ventas de energía a la ENEE mediante un contrato de suministro de energía eléctrica.

En cuanto a legislación específica sobre bioenergía, Honduras cuenta con la Ley para la Producción y Consumo de Biocombustibles, que establece el marco jurídico para la producción de materia prima, fabricación, distribución, comercialización y uso de biocombustibles, incluyendo la mezcla con derivados del petróleo. La Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) es la encargada de aplicar dicha ley en lo que respecta a la producción de las materias primas agropecuarias necesarias para la producción de biocombustibles, en tanto que el fomento, promoción, comercialización, distribución y almacenaje de biocombustibles está a cargo de la Secretaría de Industria y Comercio (SIC) por conducto de una Unidad Técnica de Biocombustibles (UTB), presidida por la SIC y conformada por representantes de la SAG, la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente y el Consejo Hondureño de la Empresa Privada (COHEP). La UTB, en coordinación con la Comisión Administradora de Petróleo (CAP), también determina las mezclas permitidas de biocombustibles con derivados del petróleo.

Asimismo, el Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF) realizó una propuesta de Normativa para el Aprovechamiento de Biomasa Forestal con Fines Energéticos (Eguigurens, 2015) que incluye normas para el establecimiento de plantaciones forestales; manejo de matorrales mediante especies con capacidad de rebrote; aprovechamiento de biomasa residual en bosques de coníferas y bosques plagados; comercialización de biomasa forestal; normativa para la instalación y funcionamiento de industrias astilladoras; y lineamientos para empresas generadoras de bioenergía forestal.

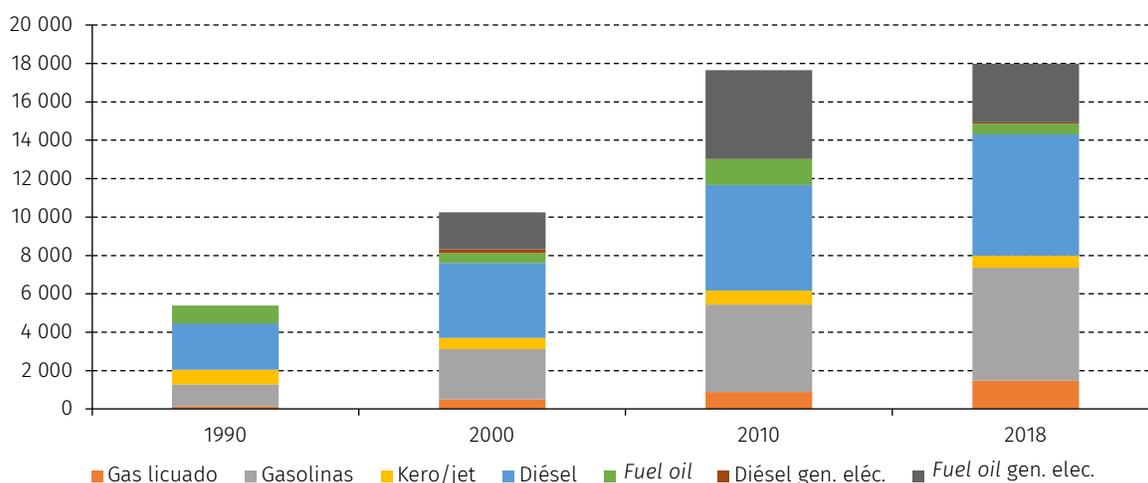
La biomasa moderna, junto con otras fuentes renovables, puede contribuir a una matriz eléctrica más limpia y diversificada, especialmente en el sector industrial. La generación de energía eléctrica mediante bagazo de caña de azúcar, efluentes de aceite de palma africana, *king grass* y residuos de madera en Honduras aumentó de 175 GWh en 2011 a 539 GWh en 2018, lo que indica que hay interés de la agroindustria y otras industrias en el aprovechamiento de residuos biomásicos para procesos de cogeneración y generación de electricidad. Además, el Gobierno de Honduras, mediante su legislación, promueve la generación de energía mediante fuentes renovables, incluyendo la biomasa. Estos esfuerzos contribuirán a la disminución del

uso de derivados del petróleo para generar energía y electricidad, probando que la biomasa moderna tiene un gran potencial como fuente renovable de energía.

2. Sector hidrocarburos

Honduras, al igual que el resto de los países del SICA es un importador neto de hidrocarburos. El consumo de petróleo y sus derivados ascendió a 18 millones de barriles equivalentes de petróleo, en tanto que el valor total CIF¹² de las importaciones alcanzó los 1.576 millones de dólares. Los hidrocarburos importados equivalían al 15,8% de las exportaciones totales de Honduras en 2018 (CEPAL, 2019). En 2018, el 67,7% del consumo de derivados del petróleo se concentraba en el diésel (35,1%) y las gasolinas (32,6%). El consumo de *fuel oil* ligado a la generación de electricidad creció significativamente entre 1990 y 2018 debido al desarrollo de las plantas térmicas para generación eléctrica. El *fuel oil* para consumo industrial y el *kerojet* han mantenido niveles de participación semejante entre 1990 y 2018, como se observa en el gráfico II.4. Por su parte, el gas licuado es el combustible con la mayor tasa de crecimiento en el período 1990-2018 con un promedio anual del 9,2%.

Gráfico II.4
Honduras: consumo de derivados del petróleo, 1990-2018
(En miles de barriles)



Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), sobre la base de cifras oficiales.

El consumo de gas licuado en Honduras pasó de 127.000 barriles equivalentes de petróleo (bep) en 1990 a 1,5 millones en 2018. Se estima que el sector residencial consume más de la mitad del gas LP, principalmente en la cocción de alimentos. No obstante, como se señaló anteriormente, debido a las tarifas relativamente bajas de la electricidad, la penetración del gas LP es comparativamente más baja que en otros países debido a que muchos hogares hondureños utilizan electricidad para cocción de alimentos. De acuerdo con Lagarda y Linares (2017), no existe un subsidio directo a la población en el gas LP, implicando que se otorga indirectamente mediante la reducción de los márgenes de comercialización.

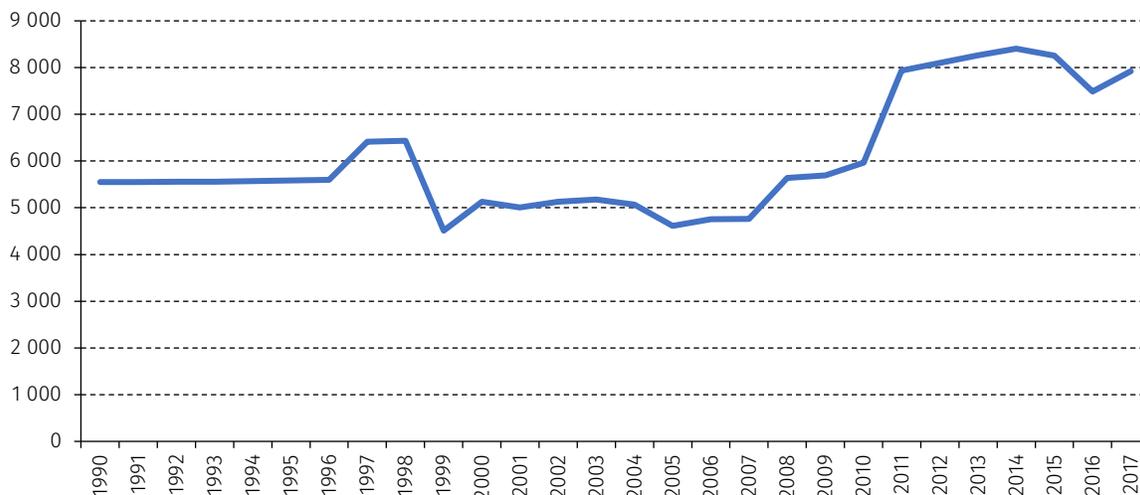
El uso de fuentes renovables de energía, como la biomasa moderna, no solo tiene el potencial de contribuir a disminuir las emisiones de GEI, sino que también tiene el potencial de contribuir a la reducción de la factura petrolera de Honduras y disminuir su dependencia de las importaciones de hidrocarburos.

¹² CIF = *cost, insurance and freight* (costo, seguro y flete).

3. Consumo de leña en los hogares (biomasa tradicional)

El consumo de leña de los hogares pasó de 5,5 millones de metros cúbicos en 1990 a casi 8 millones de metros cúbicos en 2017, y muestra una tendencia ascendente desde 2007. El consumo de leña incrementó significativamente a partir del período de la crisis económica mundial (2008-2009) (véase el gráfico II.5).

Gráfico II.5
Honduras: consumo de leña de los hogares, 1990-2017
(En miles de metros cúbicos)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de UN DATA [base de datos en línea] <http://data.un.org/>.

Nota: De 1993 a 2017 se trata de estimaciones.

Pese a que el consumo de leña de los hogares ha aumentado en términos absolutos, el porcentaje de hogares que utiliza dicho combustible para cocinar ha disminuido. De acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2013 de Honduras, en ese año el 54,7% de los hogares utilizaba leña como principal fuente de energía para cocinar, en tanto que, de acuerdo con la *Encuesta Permanente de los Hogares de Propósitos Múltiples* de 2016, el número de hogares que utilizaba leña como principal fuente de energía para cocinar se había reducido al 48,1%, debido a que aumentó la participación del gas propano y de la electricidad como principal fuente para cocinar en los hogares hondureños entre 2013 y 2016 (véase el cuadro II.2).

Cuadro II.2
Honduras: principal fuente de energía para cocinar del total de los hogares
(En número de casos y porcentajes)

Energía para cocinar	Censo 2013		EPHPM 2016	
	Casos	Porcentaje	Casos	Porcentaje
Leña	1 028 630	54,7	941 807	48,1
Gas (queroseno)	91 233	4,9	56 009	2,9
Gas propano (Chimbo)	416 149	22,1	605 805	30,9
Electricidad	314 029	16,7	354 805	18,1
Otro	85	0,0		
No cocina	31 453	1,7		
Total	1 881 578	100,0	1 958 427	100,0

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Nacional de Estadística (INE), *XVII Censo de Población y VI de Vivienda de Honduras*, 2013 y *Encuesta Permanente de los Hogares de Propósitos Múltiples de Honduras*, 2016.

El uso de leña para cocinar puede derivar en afectaciones de la salud de los miembros de los hogares y en un menor tiempo para realizar otras actividades, incluyendo la educación y el ocio. Las mujeres son, probablemente, las más afectadas al respecto, por el tiempo que pasan cocinando los alimentos. En el recuadro II.1 se analiza la problemática del uso de leña en los hogares de Honduras y las consecuencias para las mujeres por la cocción de alimentos mediante fogones tradicionales a base de leña.

Recuadro II.1

Honduras. Uso de leña para cocinar en fogones tradicionales y efectos negativos en las mujeres

De acuerdo con el Balance Energético Nacional 2019 (SEN, 2019), aproximadamente una tercera parte del total de la energía que se consume en Honduras proviene de la leña y es utilizada principalmente para la cocción de alimentos. Se estima que alrededor de un millón de hogares hondureños cocinan sus alimentos en estufas a base de leña (Ludeña y otros, 2015; INE, 2016). Si bien en muchos casos la leña es recolectada por las familias de manera gratuita, se estima que un 26% de los usuarios de leña la compran y, en el caso de las zonas urbanas, el costo anual de la compra de leña asciende a 217 dólares, además de que muchos negocios pequeños como puestos de comida y restaurantes pequeños, panaderías y tortillerías —unas 18.000 en el país— utilizan leña como principal combustible para sus actividades (Ludeña y otros, 2015). Puesto que en la mayoría de los casos la leña es utilizada en estufas ineficientes y contaminantes, se presentan consecuencias negativas sobre la salud, la educación y la productividad de los miembros de los hogares, principalmente en el caso de las mujeres, quienes mayoritariamente realizan la tarea de la preparación de los alimentos en el hogar.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) y basándose en estimaciones de uso de combustible sólido para 2012, la contaminación del aire al interior de los hogares (CAIH) es el mayor factor de riesgo ambiental para la salud a nivel mundial, ocasionando 4,3 millones de muertes prematuras cada año, además de que se estima que la CAIH ocasiona una cuarta parte de los casos de cataratas en los ojos y evidencia científica la vincula con consecuencias adversas sobre la salud como bajo peso al nacer, niños nacidos muertos, tuberculosis, cáncer cérvico uterino, cáncer nasofaríngeo y laríngeo, asma e infecciones del oído y de las vías respiratorias superiores (OMS, 2016). La OMS estima que el 60% de las muertes prematuras atribuidas a la CAIH son de mujeres y niños, quienes presentan un alto riesgo de enfermedad debido a la CAIH por el tiempo que pasan expuestos a fuentes de combustión contaminantes (OMS, 2016), tales como las estufas tradicionales a base de leña. Otros efectos que afectan negativamente y de manera desproporcional a la salud de las mujeres debido al uso de estufas a base de leña incluyen quemaduras y dolores de cabeza crónicos, entre otros (OMS, 2016).

Considerando que muchos hogares en Honduras dependen de fogones contaminantes e ineficientes a base de leña para satisfacer sus necesidades de cocción de alimentos, no es de sorprender la relativamente alta tasa de mortalidad estandarizada atribuida a la contaminación del aire en los hogares en Honduras, que es de 38 muertes por cada 100.000 habitantes, muy por encima de la tasa de América Latina y el Caribe que es de 15 muertes por cada 100.000 habitantes (Naciones Unidas, 2016). Si bien no se cuenta con cifras desagregadas, es de suponer que una buena parte de las muertes atribuidas a la CAIH en Honduras correspondan a mujeres, quienes por lo general se encargan de la preparación de los alimentos. Asimismo, la preparación de alimentos en fogones tradicionales implica dedicar grandes cantidades de horas que pueden incluir la recolección de leña, prender el fogón y preparar los alimentos, en detrimento del tiempo que las mujeres (adultas y niñas) pueden utilizar para actividades productivas que les permitan generar ingresos, para su educación y para el ocio, lo cual repercute en una mayor desigualdad y en mayores niveles de pobreza.

El uso de estufas mejoradas (limpias y eficientes) a base de biomasa moderna proveniente de residuos forestales y agropecuarios puede contribuir a disminuir el riesgo ambiental para la salud de las mujeres y niños en Honduras, además de reducir el tiempo dedicado a las actividades asociadas con la preparación de los alimentos que recaen principalmente en las mujeres y aumentar el tiempo dedicado a su educación y a actividades remuneradas, permitiéndoles mejorar su calidad de vida y la de sus familias, especialmente de zonas marginadas conurbadas y de áreas rurales, donde se realiza el mayor consumo de leña en Honduras.

Fuente: Elaboración propia.

Si bien se ha producido una reducción del número de hogares que utilizan leña como principal fuente de energía para cocinar en los hogares urbanos, todavía en 2016 una cuarta parte de los hogares utilizaba leña como principal combustible para cocinar (véase cuadro II.3). Sin embargo, el uso de gas propano y electricidad pasó de menos del 62% en 2013 a poco más del 70% en 2016 en los hogares urbanos. Aunque el consumo de leña para cocinar en los hogares rurales ha disminuido en Honduras, la leña sigue siendo el principal combustible para cocinar para más del 75% de los hogares rurales, en tanto que el gas propano y la electricidad son los principales combustibles para cocinar para aproximadamente el 21% de los hogares rurales (véase el cuadro II.4).

Cuadro II.3
Honduras. Principal fuente de energía para cocinar de los hogares urbanos
(En número de casos y porcentajes)

Energía para cocinar	Censo 2013		EPHPM 2016	
	Casos	Porcentaje	Casos	Porcentaje
Leña	299 130	28,5	279 196	25,2
Gas (queroseno)	80 510	7,7	50 640	4,6
Gas propano (Chimbo)	363 923	34,7	466 885	42,1
Electricidad	285 207	27,2	311 796	28,1
Otro	70	0,0		
No cocina	20 809	2,0		
Total	1 049 650	100,0	1 108 517	100,0

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Nacional de Estadística (INE), *XVII Censo de Población y VI de Vivienda de Honduras*, 2013 y Encuesta Permanente de los Hogares de Propósitos Múltiples de Honduras, 2016.

Cuadro II.4
Honduras: principal fuente de energía para cocinar de los hogares rurales
(En número de casos y porcentajes)

Energía para cocinar	Censo 2013		EPHPM 2016	
	Casos	Porcentaje	Casos	Porcentaje
Leña	729 500	87,69	662 610	77,96
Gas (queroseno)	10 723	1,29	5 369	0,63
Gas propano (Chimbo)	52 226	6,28	138 920	16,35
Electricidad	28 822	3,46	43 008	5,06
Otro	14	0,0		
No cocina	10 644	1,28		
Total	831 929	100,0	849 908	100,0

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Nacional de Estadística (INE), *XVII Censo de Población y VI de Vivienda de Honduras*, 2013 y Encuesta Permanente de los Hogares de Propósitos Múltiples de Honduras, 2016.

Una cuarta parte de los hogares urbanos y tres cuartas partes de los hogares rurales de Honduras utilizan leña como su principal fuente de cocción de alimentos. Es deseable disminuir el uso de leña para cocción de alimentos en los hogares, principalmente para aliviar la presión sobre los bosques y debido a que su explotación está limitada por la Ley Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre a bosques con planes de manejo forestal. Para ello es necesario explorar el uso de otros recursos biomásicos ampliamente disponibles (residuos agropecuarios, forestales y de la industria forestal), a la par de tecnologías como biodigestores (para producción de biogás), y estufas mejoradas y limpias para cocción de alimentos, disminuyendo, además, la propensión a enfermedades respiratorias relacionadas con la contaminación de interiores ocasionada por el humo de los fogones tradicionales a base de leña.

B. Uso de suelo y producción agropecuaria y silvícola

1. Uso de suelo

En 2017, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el 41% del suelo de Honduras correspondía a áreas forestales y poco más del 28% eran tierras destinadas a fines agropecuarios (cultivos y pastizales) (véase el cuadro II.5). En lo que respecta a la tierra de cultivo, se observa que esta pasó del 16,6% en 1992 al 15,4% en 2017, mientras que la superficie terrestre destinada a pastizales aumentó del 13,4% en 1992 al 15,7% en 2017. Por su parte, los bosques pasaron de representar casi el 70% de la superficie total del país en 1992 a un 41% en 2017. La cobertura forestal incluye un 23,45% de Áreas Naturales Protegidas (ANP) (UNEP-WCMC, 2020). Descontando las ANP, la superficie forestal asciende a 17,55% de la superficie total del país. La disminución de la cobertura forestal se explica primordialmente por el crecimiento de la tierra para otros usos (pasó del 0,4% en 1992 al 27,9% en 2017), incluyendo zonas urbanas.

Cuadro II.5
Honduras: uso de suelo, 1992-2017
(Como porcentaje de la superficie terrestre total)

	1992	2000	2010	2015	2017
Tierra agrícola	30,0	26,2	29,1	30,1	31,1
Tierra de cultivo	16,6	12,8	13,4	14,4	15,4
Tierra de prados y pastos permanentes	13,4	13,5	15,7	15,7	15,7
Bosque	69,6	57,1	46,4	41,0	41,0
Otros usos	0,4	16,6	24,7	30,0	27,9

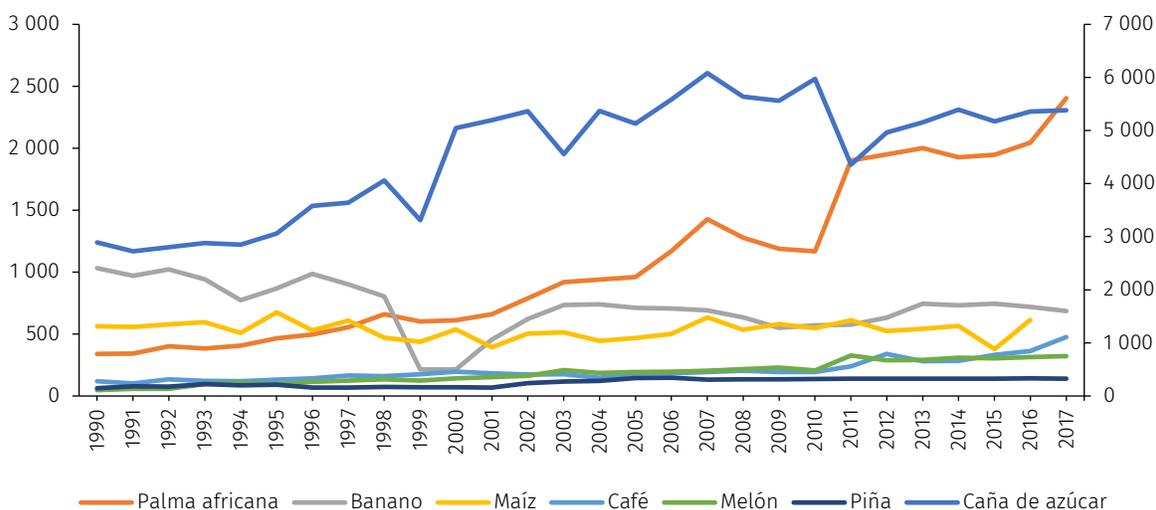
Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), FAOSTAT [base de datos en línea] <https://www.fao.org/faostat/es/#home>.

Pese a que en los últimos años han disminuido la tierra de cultivo y la cobertura forestal —especialmente esta última—, Honduras cuenta con un gran potencial para producir recursos biomásicos mediante residuos agrícolas, cultivos y bosques energéticos, y residuos forestales y de la industria forestal. En el caso de los residuos biomásicos, su utilización como energético permitiría darles un uso a recursos que de otra manera serían desechados, además de reducir la presión de requerimientos de tierras para otros usos, incluyendo la producción de bioenergía. Gestionar de manera sostenible los cultivos y bosques energéticos permitiría, además, diversificar las fuentes de ingresos de las zonas agrícolas y agroforestales. En el caso de los bosques energéticos, estos tienen la ventaja de que el recurso puede ser utilizado como madera para diversos fines, en caso de que su uso energético no sea el más rentable.

2. Producción agropecuaria

En el gráfico II.6 se observa la producción de los principales productos agrícolas de Honduras. Se destaca la tendencia ascendente del volumen de producción de la caña de azúcar, cuya producción pasó de 2.892.000 toneladas en 1990 hasta 5.380.000 toneladas en 2017. También destaca la palma africana, cuyo subproducto, el aceite de palma, constituye una de las principales fuentes de divisas de Honduras. La producción de palma africana pasó de casi 340.00 toneladas en 1990 a más de 2,4 millones de toneladas en 2017.

Gráfico II.6
Honduras: producción de los principales cultivos agrícolas, 1990-2017
 (En miles de toneladas)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Sistema de información agropecuaria de Centroamérica y la República Dominicana (SIAGRO)/CEPALSTAT [base de datos en línea] https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e.

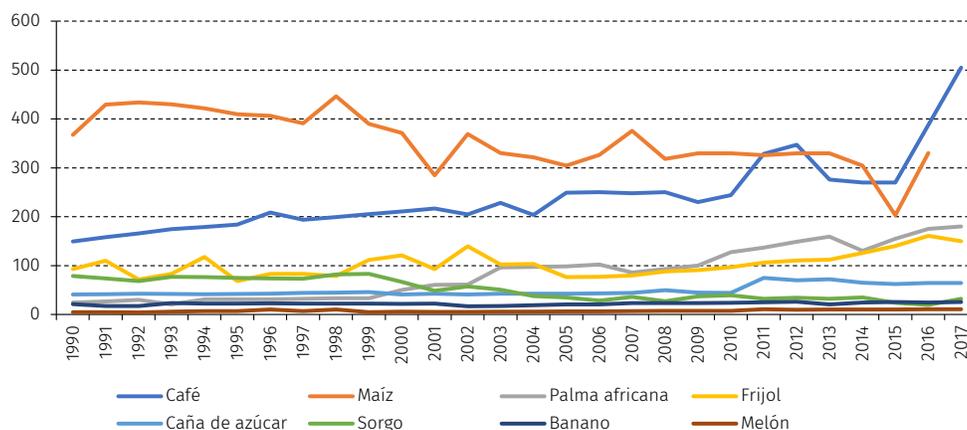
Nota: En el eje vertical izquierdo se mide el volumen de producción de la caña de azúcar y en el eje vertical derecho se mide el volumen de producción del resto de los productos agrícolas.

El banano, por su parte, es uno de los productos agrícolas de exportación tradicionales de Honduras. Su producción superaba las 800.000 toneladas antes de 1999, incluso llegando a registrarse una producción de más de 1 millón de toneladas en 1990. A raíz de los devastadores efectos del huracán Mitch se redujo considerablemente la producción de banano y esta no ha podido llegar a los niveles anteriores a 1999. En los últimos años la mayor producción fue de casi 750.000 toneladas en 2015. Pese a esto el banano continúa siendo uno de los principales productos de exportación del país.

Honduras tiene una producción importante de maíz, uno de los granos básicos de la dieta alimentaria del país. Entre 1990 y 1997 la producción promedio de maíz fue de 577.000 toneladas. La producción registró una significativa caída entre 1998 y 1999, en parte como resultado de los efectos del huracán Mitch. En 2001 la producción de maíz tuvo otra caída importante por efectos de una sequía. Sin embargo, la mayor caída de la producción de maíz sucedió en 2015 (menos de 380.000 toneladas), también por efectos de una sequía. Entre 2002 y 2016, la producción promedio anual de maíz fue de 530.000 toneladas. En el caso del café, su producción pasó de más de 100.000 toneladas en 1990 hasta más de 475.000 toneladas en 2017, lo que es un reflejo de la demanda mundial de este producto.

El maíz había sido, hasta la década de 2010, el cultivo con mayor superficie cosechada, con un promedio de 356.000 hectáreas entre 1990 y 2016 (véase el gráfico II.7). En los últimos años, no obstante, el cultivo con la mayor superficie cosechada ha sido el café, que en 2017 alcanzó más de 500.000 hectáreas. A estos dos cultivos le sigue la palma africana, cuya cosecha en 1990 apenas representaba 24,6 ha. Sin embargo, la superficie de cultivo de palma africana ha tenido un gran crecimiento en los últimos 20 años debido al aumento de la demanda mundial de aceite de palma, alcanzando las 180.000 ha en 2017. A estos cultivos, de acuerdo con su superficie cosechada, le siguen el frijol, la caña de azúcar, el sorgo, el banano y el melón.

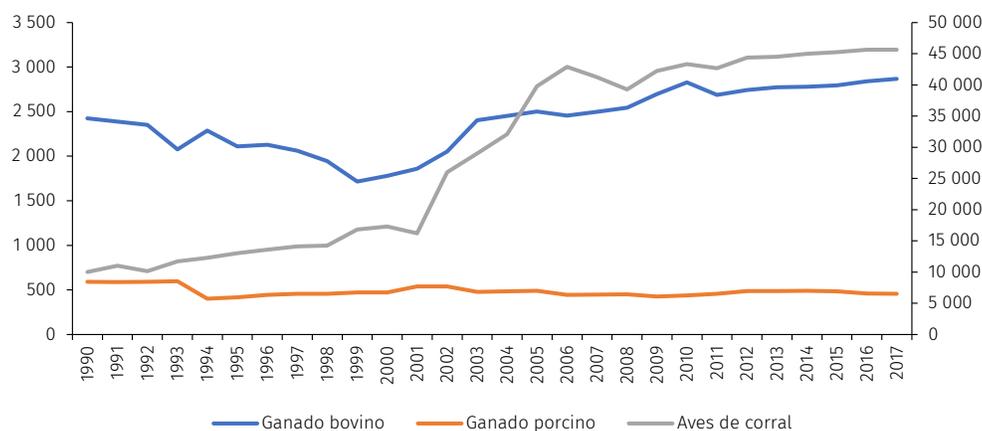
Gráfico II.7
Honduras: cultivos con mayor superficie cosechada, 1990-2017
 (En miles de hectáreas)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Sistema de información agropecuaria de Centroamérica y la República Dominicana (SIAGRO)/CEPALSTAT [base de datos en línea] https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e.

En lo que respecta a las existencias de ganado, las aves de corral han aumentado considerablemente en el período 1990-2017, como se puede observar en el gráfico II.8. En 1990 se contabilizaron aproximadamente 10 millones de cabezas, en tanto que para 1999 ya sobrepasaban los 15 millones de cabezas. Después de 2001, se daría un enorme crecimiento de las existencias de aves de corral llegando a aproximadamente 40 millones de cabezas en 2005. En 2017, se contabilizan más de 45 millones de cabezas.

Gráfico II.8
Honduras: existencias de ganado, 1990-2017
 (En miles de cabezas)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Sistema de información agropecuaria de Centroamérica y la República Dominicana (SIAGRO)/CEPALSTAT [base de datos en línea] https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e.

Nota: En el eje vertical izquierdo se mide el número de cabezas de ganado bovino y porcino y en el eje vertical derecho se mide el número de aves de corral.

El ganado bovino, por su parte, ha mantenido sus existencias en el rango de los 2 y 3 millones de cabezas en el período 1990-2017, salvo en el período 1998-2001, donde se situó

por debajo de los 2 millones de cabezas de ganado. El ganado porcino ha mantenido sus existencias en el rango de 400 y 500 millones de cabezas entre 1994 y 2017, habiéndose situado casi en los 600 millones de cabezas entre 1990 y 1993.

Varios de los principales productos agrícolas de Honduras —en términos de volumen de producción y superficie cosechada— tienen el potencial de ser generadores de residuos biomásicos para aprovechamiento energético, incluyendo la caña de azúcar (bagazo, cachaza, melaza y residuos de campo), la palma africana (coquito, mesocarpio y fibra de pinzote), el banano (pinzote y banano de rechazo), el maíz (mazorcas y olotes) y el café (pulpa, cáscara y mucílago). Asimismo, también existe un gran potencial de aprovechamiento de las excretas de aves de corral y de ganado bovino y porcino para su conversión en biogás mediante biodigestores.

3. Producción silvícola

Entre 2000 y 2018, la producción de madera en rollo —el principal producto silvícola de Honduras—, se redujo un 5,5%, pasando de 8,7 millones m³ en 2000 a 8,3 millones m³ en 2018 (véase el cuadro II.6). La madera aserrada pasó de 442.000 m³ en 2000 a 259.000 m³ en 2018, una reducción de 70% en su producción. El uso productivo de astillas, partículas y residuos de madera pasó de 168.000 m³ en 2012 a 210.000 m³ en 2018. En los últimos años se ha generado producción de pellets y de otros productos aglomerados de madera, aunque en cantidades relativamente pequeñas (entre 3.000 y 10.000 toneladas).

Cuadro II.6
Honduras: volumen de producción silvícola
(En miles de toneladas y miles de metros cúbicos)

Producto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Madera en rollo	8 732,4	8 720,0	8 710,3	8 703,4	8 699,2	8 697,6	8 668,1	8 641,2	8 651,8	8 635,9	8 585,3	8 549,1	8 511,3	8 467,8	8 436,3	8 437,5	8 381,2	8 327,1	8 275,3
Madera para combustible (incluida madera para carbón vegetal)	8 732,4	8 720,0	8 710,3	8 703,4	8 699,2	8 697,6	8 668,1	8 641,2	8 616,8	8 594,9	8 575,3	8 535,1	8 497,3	8 461,8	8 428,5	8 397,4	8 341,0	8 287,0	8 235,2
Madera en bruto (industrial)									35,0	41,0	10,0	14,0	14,0	6,0	7,8	40,1	40,1	40,1	40,1
Carbón vegetal de madera	3,0	13,0	36,0	3,0	3,0	3,0	25,2	25,8	26,4	27,0	27,7	18,2	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
Astillas, partículas y residuos de madera													168,0	189,0	208,8	210,1	210,6	210,2	210,2
Pellets de madera y otros productos aglomerados													3,0	4,0	0,8		10,1	4,9	4,9
Madera aserrada	442,0	419,0	480,0	434,0	467,0	407,0	412,0	379,0	349,0	277,0	229,0	234,0	246,0	246,0	296,8	299,0	259,4	259,4	259,4
Pulpa de madera	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0								
Otros tipos de pulpa	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0								
Papel recuperado	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	51,0	57,0	58,0	60,0	53,8	60,0	60,0
Papel y cartón	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	103,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Sistema de información agropecuaria de Centroamérica y la República Dominicana (SIAGRO)/CEPALSTAT [base de datos en línea] https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e, sobre la base de información de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), FAOSTAT [base de datos en línea] <https://www.fao.org/faostat/es/>.

La implementación de bosques energéticos y plantaciones forestales gestionadas de manera sostenible puede contribuir a impulsar la industria forestal hondureña, que en los últimos años ha tenido una baja en su producción. El uso productivo de astillas, partículas y residuos de madera y la producción de pellets y de otros productos aglomerados de madera en Honduras debe ser promovido para impulsar el aprovechamiento energético de residuos forestales y de la industria forestal. En términos generales, las plantaciones energéticas pueden constituir una fuente de oportunidades de empleo en zonas agroforestales.

C. Población, población ocupada y pobreza

En 2018 se estimaba que la población de Honduras alcanzó los 9,2 millones de habitantes, un 85,5% más que en 1990 cuando la población era de 4,9 millones de habitantes (véase el cuadro II.7). Para 2030 se proyecta que la población llegue a 10,5 millones de habitantes, un crecimiento de 13,9% con respecto a 2018.

Cuadro II.7
Honduras: población total según sexo, 1990-2030
(En miles de personas a mitad de año)

Años	1990	2000	2010	2015	2018	2030
Total	4 955	6 521	8 105	8 814	9 194	10 472
Hombres	2 461	3 242	4 037	4 392	4 582	5 216
Mujeres	2 494	3 279	4 068	4 422	4 612	5 256

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), CEPALSTAT [base de datos en línea] <https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/Portada.html>.

En 2015, el 70,3% de la población de Honduras tenía menos de 35 años (véase el cuadro II.8). Sin embargo, la población menor de 15 años ha disminuido su participación en la estructura poblacional de Honduras pasando de 45,9% en 1990 a 31,9% del total en 2015, en tanto que los demás grupos etarios han aumentado su participación en la estructura poblacional entre 1990 y 2015. Para 2030 se espera una marcada disminución de la participación en la estructura poblacional de los habitantes menores de 15 años (a 22,3% del total) y de la población entre 15 y 34 años (a 35,4% del total), en tanto que se espera aumente la participación de los restantes grupos etarios. Es decir, los habitantes menores de 35 años representarán el 57,7% de toda la población, esto es, 12,6% menos que en 2015.

Cuadro II.8
Honduras: estructura poblacional por grupos de edad, 1990-2030
(En porcentajes)

Años/edades	0 a 14 años	15 a 34 años	35 a 49 años	50 a 64 años	65 años y más
1990	45,9	33,5	11,1	6,1	3,4
2000	42,4	35,2	12,7	6,1	3,7
2010	35,9	37,5	14,9	7,6	4,1
2015	31,9	38,4	16,6	8,6	4,5
2030	22,3	35,4	22,1	13,0	7,4

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), CEPALSTAT [base de datos en línea] <https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/Portada.html>.

En cuanto a la distribución por tipo de área geográfica, la población rural de Honduras pasó de representar casi un 60% de la población en 1990 a 46,4% en 2015 (véase el cuadro II.9). Ya en 2010, la población urbana representaba poco más de la mitad de los habitantes del país y se espera que para 2030 represente más del 60% de la población total de Honduras. En 2015, solo en los departamentos de Cortés, Francisco Morazán, Atlántida, Islas de la Bahía y Yoro, la población urbana representaba más del 50% de su población total. En el resto de los departamentos la población rural representaba en 2015 más del 50% de la población, llegando al 71,5% en Ocotepeque, al 73% en La Paz, al 80,6% en Intibucá y al 90,8% en Lempira (cálculos realizados con información del INE, 2018).

Cuadro II.9
Honduras: distribución porcentual de la población en áreas urbana y rural, 1990-2030
 (En porcentajes)

Años	1990	2000	2010	2015	2030
Urbana	40,5	45,4	50,8	53,6	61,8
Rural	59,5	54,6	49,2	46,4	38,2

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), CEPALSTAT [base de datos en línea] <https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/Portada.html>.

Entre 2001 y 2018, aproximadamente, una tercera parte de la población de Honduras ha estado empleada en actividades agropecuarias, que es el sector con mayor población ocupada, por encima del comercio, otros servicios y la manufactura (véase el cuadro II.10).

Cuadro II.10
Honduras: estructura de la población ocupada por sector de actividad económica, 2001-2018
 (En porcentajes)

Año/actividad	Agricultura	Minería	Manufacturera	Electricidad, gas y agua	Construcción	Comercio	Transporte	Servicios financieros	Otros servicios	No especificados
2001	31,5	0,1	16,7	0,3	5,5	23,7	3,2	2,8	16,0	0,0
2005	33,0	0,4	16,6	0,4	6,1	21,7	3,4	2,9	15,4	0,0
2010	36,2	0,2	12,9	0,5	5,3	22,9	3,7	3,4	14,1	0,7
2015	28,7	0,3	15	0,8	5,8	23,7	3,6	2,6	19,5	0,1
2018	30,7	0,2	13,6	0,6	5,8	23,4	4	2,2	19,5	0

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), CEPALSTAT [base de datos en línea] <https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/Portada.html>.

En términos relativos, la pobreza ha disminuido en Honduras, pasando del 57,4% de la población total en 2001 al 55,7% en 2018. La pobreza extrema ha disminuido, de modo que pasó del 27,3% de la población total en 2001 al 19,4% en 2018 (véase el cuadro II.11). En 2018, el 71,7% de la población rural se encontraba en situación de pobreza frente a casi un 42,4% de la población urbana. En lo que respecta a la pobreza extrema, el 32% de la población rural se encontraba en dicha situación frente a un 8,9% de la población urbana en 2018.

El uso de recursos biomásicos como fuente de energía tiene el potencial de contribuir a la creación de empleos en áreas rurales. Honduras es un país con un porcentaje relativamente alto de población en zonas rurales (alrededor de 40%), con un alto porcentaje de población entre 15 y 35 años (más del 35%) y cuya población ocupada en actividades agrícolas representa la proporción más alta de todas las actividades económicas (aproximadamente un 30%). Esto implica que el país cuenta con recursos humanos suficientes para los trabajos asociados a la generación de bioenergía. La creación de este tipo de empleos podría contribuir a la disminución de los altos niveles de pobreza de las zonas rurales y reducir la migración hacia áreas urbanas y fuera del país. Por ejemplo, la recolección, procesamiento y venta de residuos biomásicos podría ser una fuente alternativa de ingresos para las familias rurales más desfavorecidas. A continuación, en el capítulo III se presenta la metodología utilizada para calcular el potencial energético de la biomasa en Honduras para luego continuar con el

inventario de la biomasa y el análisis de la demanda y, finalmente, calcular la oferta potencial de biomasa y su equivalente energético.

Cuadro II.11

Honduras. Población en situación de pobreza extrema^a y pobreza^b según área geográfica, 2001-2018
(En porcentajes)

Años	Pobreza extrema	Pobreza
Nacional		
2001	27,3	57,4
2010	19,5	53,6
2015	19,0	55,2
2018	19,4	55,7
Urbana		
2001	11,7	40,2
2010	8,2	36,6
2015	12,4	45,9
2018	8,9	42,4
Rural		
2001	40,8	72,4
2010	28,9	67,8
2015	26,7	66,0
2018	32,0	71,7

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), CEPALSTAT [base de datos en línea] <https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/Portada.html>.

^a La CEPAL define a las personas en pobreza extrema (indigencia) como el número de personas, con relación a la población total, cuyo ingreso per cápita medio está debajo de la línea de indigencia. Para calcular la línea de indigencia se estima el costo de la canasta básica de alimentos correspondiente a cada país, tomando en cuenta aspectos como hábitos de consumo, disponibilidad de alimentos y precios relativos, y las diferencias de precios entre áreas metropolitanas y zonas urbanas y rurales. En la mayoría de los casos la información proviene de las encuestas de gasto de los hogares.

^b La CEPAL define a las personas en pobreza como el número de personas, con relación a la población total, cuyo ingreso per cápita medio está debajo de la línea de pobreza. La línea de pobreza es el monto mínimo necesario que les permite satisfacer sus necesidades esenciales (alimentarias y no alimentarias) y se determina a partir del costo de una canasta de bienes y servicios. En el caso de la línea de pobreza de la CEPAL, esta se calcula multiplicando la línea de indigencia (utilizada para conocer la población en situación de pobreza extrema) por un factor constante, que en general toma el valor 2 para las zonas urbanas y 1,75 para las zonas rurales. En la mayoría de los casos la información proviene de las encuestas de gasto de los hogares.

Capítulo III

Metodología

Las estimaciones de la oferta de recursos biomásicos con potencial energético se realizaron utilizando la plataforma geoespacial denominada Sistema Estadístico y Geográfico para la Evaluación del Potencial Energético de los Recursos Biomásicos en los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), del que se deriva este estudio. Dicha plataforma es una iniciativa conjunta de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de las Naciones Unidas y del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La plataforma geoespacial puede consultarse en www.wegp.unam.mx/sicabioenergy. En esta sección se explica cómo se determina la oferta y demanda de recursos biomásicos con potencial (teórico-técnico) de aprovechamiento energético, incluyendo el tipo de recursos evaluados y la selección de la base espacial. La plataforma geoespacial cuenta con criterios de restricción (filtros) que limitan el potencial biomásico y permiten acotar las estimaciones para asegurar el uso sostenible de la biomasa.

A. Definición del potencial energético de los recursos biomásicos

Cuando se habla del potencial energético de los recursos biomásicos, dicho potencial puede referirse a uno de los siguientes casos (Slade y otros, 2011; Chum y otros, 2011):

- Potencial teórico: Se refiere a la cantidad de biomasa que puede obtenerse en un período de tiempo para su uso energético, tomando en cuenta solo los límites biológicos y físicos.
- Potencial técnico: La cantidad de biomasa que puede ser recolectada, con respecto al potencial teórico, tomando en cuenta algunas restricciones (como áreas naturales protegidas, elevación y otras).

- **Potencial económico:** La cantidad de biomasa que puede ser recolectada, con relación al potencial técnico, tomando en cuenta oferta, demanda, costos y precios relativos, entre otros factores.
- **Potencial de implementación:** La cantidad de biomasa que se puede obtener con fines energéticos tomando en cuenta, además del potencial económico, aspectos como los impactos sociales y ambientales negativos, así como cuestiones tecnológicas y de mercado.

Las estimaciones del equivalente de energía primaria de las diferentes fuentes de biomasa (potencial técnico) realizadas en este estudio no contemplan los costos de producción (recolección, tratamiento, procesamiento, eficiencia de generación de energía y otros). Esto es, no se contemplan los potenciales económicos y de implementación, pues están más allá del alcance del presente documento, por lo que a lo largo de la exposición se presentan potenciales teóricos y técnicos. Asimismo, si bien en algunos casos se presentan ejemplos de la demanda actual de algunos recursos biomásicos, con seguridad esta no representa la demanda total ni, mucho menos, la demanda potencial. Para un análisis del potencial económico se requiere de información más detallada de la demanda.

B. Recursos biomásicos considerados para la evaluación del potencial energético

Los recursos de biomasa para energía comprenden una variada gama de fuentes primarias (aquellas en las que la biomasa para energía se obtiene directamente con este fin) y secundarias (aquellas fuentes en las que la biomasa para energía es un subproducto de otras actividades económicas). Entre las fuentes primarias destacan los bosques y selvas nativos, y las plantaciones o cultivos para energía. Entre las fuentes secundarias están los residuos del aprovechamiento y la industrialización de la madera, los residuos de cultivos agrícolas y los residuos agroindustriales, entre otros.

Los recursos biomásicos que se evaluaron dependiendo de la disponibilidad de información, fueron los recursos forestales (subproductos del aprovechamiento y la industria forestal, plantaciones forestales dedicadas y aprovechamiento de bosques nativos) y los cultivos dedicados. Para el caso de las plantaciones forestales dedicadas y de los cultivos se estimó el potencial teórico, considerando que ambos recursos no existen actualmente en el país. En las estimaciones con respecto a la industria forestal y a los bosques nativos mencionados en el punto anterior se considera el potencial técnico de su aprovechamiento energético. Las estimaciones no pretenden impulsar un cambio de uso de suelo ni la sobreexplotación forestal, sino ser un punto de partida para analizar el aprovechamiento energético como una de las alternativas para el uso de suelos agrícolas y forestales, en especial de tierras marginales que pudieran ser aprovechadas para producir cultivos energéticos y de tierras que han sido deforestadas.

C. Metodología de la selección de la base espacial

La base de datos espacial seleccionada para cada recurso evaluado varía conforme a los diferentes recursos biomásicos debido, sobre todo, al formato de la información original sobre la distribución de materias primas, y también porque depende de otras variables espaciales que se utilizan para ponderar estos recursos. Por ejemplo, los mapas de biomasa aérea son generalmente mapas *raster* (celdas cuadradas) de entre 30 y 100 m de lado (de resolución), en

tanto que la información de producción agrícola se encuentra generalmente en unidades administrativas como estados, departamentos o municipios (polígonos vectoriales).

En muchas ocasiones, la información original no se encuentra en un formato espacial propiamente dicho, sino que se presenta en cuadros desagregados que hacen referencia a sitios que pueden tener una representación espacial. Para representar esta información de manera espacial mediante mapas debe integrarse con capas espaciales existentes. El caso más común es cuando la información viene listada por unidades administrativas o las estadísticas para las que se cuenta con un mapa base. Si, por el contrario, no se cuenta con datos espaciales sobre la información en cuestión, es necesario empatar un mapa vectorial con la información disponible o agrupar la información para que varias unidades no mapeadas coincidan con alguna otra unidad mapeada. Por ejemplo, si se cuenta con un mapa de departamentos, pero la información tabular está por municipios, será necesario entonces sumar la producción municipal por cada departamento del mapa a fin de que haya coincidencia con la información municipal y esta pueda ser mapeada.

D. Metodología para determinar la oferta de recursos biomásicos

Con base en la superficie accesible y la aptitud del terreno para la productividad de biomasa, se calculó el potencial técnico para el aprovechamiento de los recursos biomásicos. Se utilizaron mapas e información existentes relacionados a la producción anual, ponderada por la productividad y multiplicada por un coeficiente de generación de residuos, para posteriormente obtener el potencial energético de dichos recursos.

1. Metodología para determinar la oferta de subproductos del aprovechamiento y la industria forestal

Para este caso en particular no se obtuvo información espacial y se estimó el potencial técnico con respecto al volumen de la producción forestal maderable, obtenida del Anuario Estadístico Forestal de Honduras (AEFH) (ICF, 2016). Se consideró como base de los cálculos el volumen de madera extraída en metros cúbicos rollo (m^3r) para el año 2014 que contempla los siguientes datos: 497.000 m^3r de coníferas y 20.000 m^3r de latifoliadas (0,52 millones de m^3r). El volumen de madera aserrada considera la proporción de la producción o extracción forestal que se destina a la industria del aserrío, incluyendo la madera destinada a la construcción, chapa y triplay, empaques, postes para transmisión de electricidad y telefonía, y durmientes de ferrocarriles. Según el AEFH (2015), 132 industrias reportaron su producción en 2015, alcanzando un total de 118 millones de pies tablares (283.000 m^3r). Los coeficientes de generación de residuos corresponden a:

- subproductos de la extracción forestal: los que se generan durante las prácticas de extracción de la madera comercial (en rollo), y está conformado por ramas, puntas y árboles con diámetros no comerciales, y
- subproductos de la industria maderera: corresponden a los residuos que se generan principalmente en los aserraderos, en particular al aserrín, costeros, corteza, puntas y recortes.

Para ambos casos se consideró un coeficiente promedio de generación de residuos igual a 0,5, una densidad media de la madera de 0,5 tMS/ m^3 y un contenido energético promedio de 18 Gigajoules/tMS.

2. Metodología para la determinación de la oferta de plantaciones forestales dedicadas

El potencial teórico para las plantaciones se obtuvo utilizando un método multicriterio ligado a un sistema de información geográfica (SIG), mediante el que se calculó un índice de productividad basado en cuatro criterios claves que determinan la calidad de un sitio para el establecimiento de plantaciones energéticas, representado como el índice de aptitud. Se utilizaron las capas de cobertura de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente+) para recortar los cuerpos de agua y los asentamientos humanos. Los criterios clave utilizados fueron i) elevación (altitud), ii) pendientes, iii) capas de uso de suelo, y iv) precipitación total anual.

Se obtuvieron superficies con valores de índice de aptitud variables entre 0 y 1, lo que indica diferente potencial para el establecimiento de plantaciones forestales. Los valores cercanos a 0 indican potencial bajo y los valores cercanos a 1 indican las mejores condiciones de aptitud para las plantaciones, lo que resulta en un potencial relativamente elevado. Las variaciones en el potencial (por ejemplo, calidad del sitio para el establecimiento y desarrollo de plantaciones) se ven reflejadas en las tasas de productividad esperada, para las que se utilizaron valores de productividad mínimos y máximos. Los valores de productividad oscilan entre 0 tMS/ha/año para suelos pobres con baja precipitación hasta 13 tMS/ha/año para suelos muy ricos con alta precipitación. Para la estimación del potencial energético se consideró un poder calorífico de la madera de 18 GJ/tMS. El análisis no tiene en cuenta el tiempo de corte ni clasifica las especies forestales.

3. Metodología para la determinación de la oferta proveniente del aprovechamiento de bosques nativos

Para estimar las existencias y la productividad potencial de combustibles de madera provenientes de bosques naturales se desarrolló una metodología espacialmente explícita basada en información de base ya existente. El rango de superficie accesible se obtuvo utilizando áreas *buffer* mínimas y máximas alrededor de las localidades y a cada lado de las carreteras principales, a partir de información espacial de la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente+). Los valores de la productividad volumétrica se obtuvieron de casos de estudio con condiciones de crecimiento similares a las de los bosques de Honduras.

Los valores de productividad volumétrica fueron multiplicados por el peso específico de la madera para obtener la productividad gravimétrica en toneladas de materia seca por hectárea por año (tMS/año). El incremento anual de madera para energía se obtiene como el producto de la superficie accesible por la productividad. Se utilizó un peso específico promedio de la madera de 0,5 tMS/m³ y un contenido energético promedio de 18 Gigajoules/tMS. El coeficiente de acceso máximo a los bosques es 10 km alrededor de localidades y 3 km a cada lado de carreteras principales, mientras que el acceso mínimo es 3 km alrededor de localidades y 0,5 km a cada lado de carreteras principales.

4. Metodología para la determinación de la oferta proveniente de cultivos dedicados

Se estimó, a modo de ejemplo, el potencial de producción de etanol y biodiésel por medio de plantaciones dedicadas de caña de azúcar y de palma de aceite, respectivamente. Al igual que para las plantaciones forestales energéticas, se obtuvieron superficies con diferente potencial para el establecimiento de cultivos dedicados (0=bajo, 1=alto). Las variaciones en el potencial (por ejemplo, calidad del sitio para el cultivo de caña de azúcar) se ven reflejadas en las superficies cosechadas. Se aplicaron cuatro criterios de exclusión para determinar las áreas

no adecuadas para cada cultivo: i) rangos de precipitación, ii) altitud, iii) pendientes, y iv) clases de cobertura del suelo (se excluyeron los cuerpos de agua y asentamientos humanos).

Para determinar el equivalente energético del potencial (PJ/año) se consideró que:

- Para la caña de azúcar, el 50% de la producción podría derivarse a obtener etanol, un factor de conversión de 70 litros por tonelada y un poder calorífico del etanol de 23,4 MJ/litro.
- Para el caso de la palma se utilizó un factor de conversión de 300 litros por tonelada de aceite y un poder calorífico del biodiésel de 44,4 MJ/litro.

E. Metodología para determinar la demanda de mediana y alta potencia

La demanda actual de biomasa en Honduras está diferenciada en dos grandes sectores y tipos de tecnologías. Por una parte, la demanda del sector residencial/pequeña industria (uso tradicional y artesanal), caracterizada principalmente por tecnologías de pequeña potencia. Por otra parte, se tiene la demanda de mediana y alta potencia, referida al sector industrial y a la generación de energía eléctrica.

Aunque se estima que actualmente la mayor demanda de bioenergía en el país es mediante el uso de leña en el sector residencial y de pequeñas industrias (uso tradicional y artesanal), para este estudio no se contó con información georreferenciada del uso de biomasa a pequeña escala por lo que el análisis se realiza parcialmente para la demanda de mediana y alta potencia de biomasa. Si bien no se realizó un análisis del consumo de leña en el nivel residencial como parte del estudio por no contar con información georreferenciada, se llevó a cabo un análisis prospectivo del impacto de la recolección de leña en la vegetación (véase el anexo 1) utilizando la metodología MoFuSS (que se explica en el anexo 2).

Existe un uso creciente de biomasa en tecnologías de mediana y alta potencia y cada vez son más las empresas, principalmente agroindustrias, que aprovechan sus residuos para la producción de vapor de proceso y la cogeneración de calor y electricidad. También el sector eléctrico utiliza biomasa, principalmente bagazo de caña de azúcar, para generar electricidad para autoconsumo o para interconectarse con la red eléctrica nacional. Para este estudio solo se consiguió información de la demanda de biomasa para la producción de energía eléctrica. A continuación se explican las fórmulas utilizadas para estimar la demanda de biomasa para tecnologías de mediana y alta potencia.

Para estimar la demanda de biomasa para usos térmicos y eléctricos, en función de la potencia instalada de la planta, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Db = \left(\frac{P * h * Fp}{Ef * Fc} \right) * PCI \quad (1)$$

donde:

Db = demanda de biomasa en equivalente energético (PJ/año);

P = potencia instalada de la planta (MW);

h = horas anuales de trabajo (horas/año);

Fp = factor de planta

Fc = factor de conversión energético (estimado en 4,7 MWh/tMS)

Ef = eficiencia de planta (%)

PCI = poder calorífico inferior de la biomasa utilizada como combustible en la planta (PJ/tMS).

Para estimar la demanda de biomasa para generar calor en el sector industrial se consideran, de manera conservadora, 3.500 horas de operación de la caldera y una eficiencia de esta del 80%. Para la demanda del sector eléctrico se partió del compendio de plantas de generación proporcionado por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) de Honduras y se utilizó una eficiencia de planta del 30%. Para convertir la unidad másica de la biomasa utilizada (tMS) a su equivalente energético (PJ) se consideró un PCI promedio de 18 PJ por cada millón de tMS. La eficiencia de planta es una variable que depende de las condiciones del combustible empleado, de la tecnología utilizada, de la eficiencia de la caldera, de la turbina, del generador, entre otras. En el cuadro II.1 se detallan las variables más comunes, de acuerdo con el tipo de uso final y al recurso usado como combustible.

Cuadro III.1
Contenido de humedad y coeficientes para los diferentes recursos biomásicos considerados

Recurso	Vector energético	Contenido de humedad (en porcentajes)	Uso final	Eficiencia general (en porcentajes)
Forestal	Astilla – Pellet	10	Producción vapor de proceso	85
Caña de azúcar	Bagazo	40	Cogeneración	78
Forestal	Astilla	35	Cogeneración	85
Forestal	Pellet	10	Cogeneración	85
Forestal	Astilla	35	Electricidad	30
Forestal	Pellet	10	Electricidad	30
Forestal	Leña	40	Calefacción	70
Forestal	Astilla	35	Calefacción	80
Forestal	Pellet	10	Calefacción	90

Fuente: Elaboración propia.

Para cálculos complementarios se puede determinar la potencia que podría ser instalada en función del potencial energético de los recursos biomásicos por medio de las siguientes ecuaciones, según el tipo de tecnología empleada:

Para generación térmica o eléctrica a partir de biogás utilizando un motogenerador:

$$P = \frac{Pb \cdot Efm \cdot Efg}{Fp \cdot t} \quad (2)$$

donde:

P = potencia que se podría instalar (MW);

Pb = potencial energético de cada recurso biomásico (MJ/año);

Efm = eficiencia del motor (%);

Efg = eficiencia del generador (%);

Fp = factor de carga o de planta;

t = tiempo (segundos por año).

Para generación térmica o eléctrica a partir de biocombustibles sólidos, considerando un ciclo de Rankine:

$$P = \frac{Pb \cdot Efc \cdot Eft \cdot Efg}{Fp \cdot t} \quad (3)$$

donde:

P = potencia que se podría instalar (MW);

Pb = potencial energético de cada recurso biomásico (MJ/año);

Efc = eficiencia de la caldera (%);

Eft = eficiencia de la turbina de vapor (%);

Efg = eficiencia del generador (%);

Fp = factor de carga o de planta;

t = tiempo (segundos por año).

Nota: Para el caso de la potencia térmica se eliminan las eficiencias eléctricas (Eft y Efg).

Capítulo IV

Resultados de las estimaciones de la oferta potencial de biomasa

En el ámbito nacional, el principal recurso biomásico utilizado actualmente para fines energéticos proviene del sector forestal, principalmente de actividades de aprovechamiento forestal (fuentes primarias) y de centros de transformación de la madera (fuentes secundarias). En el sector agrícola, los residuos agrícolas y los agroindustriales (secundarios) se utilizan en las mismas agroindustrias sustituyendo combustibles fósiles para generación eléctrica o para cogeneración, como en el caso del bagazo en los ingenios azucareros. Aunque actualmente no se cuenta con información oficial sobre el consumo de biocombustibles líquidos¹³ en el sector transporte, en el país hay tierras que podrían ser aptas para producir cultivos dedicados como la caña de azúcar para la producción de bioetanol o la palma africana¹⁴ para la producción de biodiésel. De esta forma, se podría ampliar la oferta actual de biocombustibles líquidos para ser utilizados en el mercado interno o como alternativa para exportación.

A. Biomasa forestal

De acuerdo con el Anuario Estadístico Forestal de Honduras 2016 (ICF, 2017), la cobertura forestal alcanzaba los 5,4 millones de ha en el país, y predominaba el bosque latifoliado (57%) y seguido de los bosques de coníferas (36,7%). La producción maderable ha sido perjudicada en los últimos años por el ataque de plagas, principalmente en los bosques de pino. Además,

¹³ En el capítulo IV de la Ley para la Producción y Consumo de Biocombustibles se norman las mezclas de biocombustibles con derivados del petróleo.

¹⁴ El cultivo de la palma africana no está libre de controversias. Muchos bosques han sido deforestados para producir palma africana, afectando de paso la disponibilidad de agua. Asimismo, al ser un cultivo relativamente lucrativo, muchos agricultores han decidido sustituir la producción de algunos granos básicos por palma africana en detrimento de la seguridad alimentaria de Honduras. En ese sentido, la producción de biocombustibles con el aceite de palma deberá cumplir criterios de sostenibilidad económica, social y ambiental para ser considerada una opción viable de bioenergía.

los bosques son vulnerables a los incendios forestales que anualmente afectan a miles de hectáreas. Estos fenómenos necesitan un control y manejo adecuado, lo que podría resultar en importantes cantidades de biomasa disponible para fines energéticos.

1. Subproductos del aprovechamiento y de la industria forestal

a) Fuentes de producción

El potencial técnico total de subproductos forestales se estimó en 3,5 PJ/año (véase el cuadro IV.1). Aunque los residuos de la industria maderera son la mitad de los provenientes de la extracción forestal, es importante notar que los primeros tienen una dispersión espacial mucho menor que los provenientes de bosques nativos. Esta diferencia debe ser considerada como una ventaja al plantear opciones de aprovechamiento energético y al evaluar las cadenas logísticas apropiadas para su uso final.

Cuadro IV.1
Honduras: potencial energético de subproductos de la extracción forestal y la industria maderera

Tipo de recurso	Volumen de la producción forestal maderable o aserrada (en millones de m ³ r)	Coefficiente de generación de residuos (en porcentajes)	Disponibilidad de residuos (en millones tMS/año)	Equivalente en energía primaria (en PJ/año)
Subproductos de la extracción forestal	0,52	0,50	0,13	2,3
Subproductos de la industria maderera	0,28	0,50	0,07	1,2
Total				3,5

Fuente: Elaboración propia.

b) Consumo actual

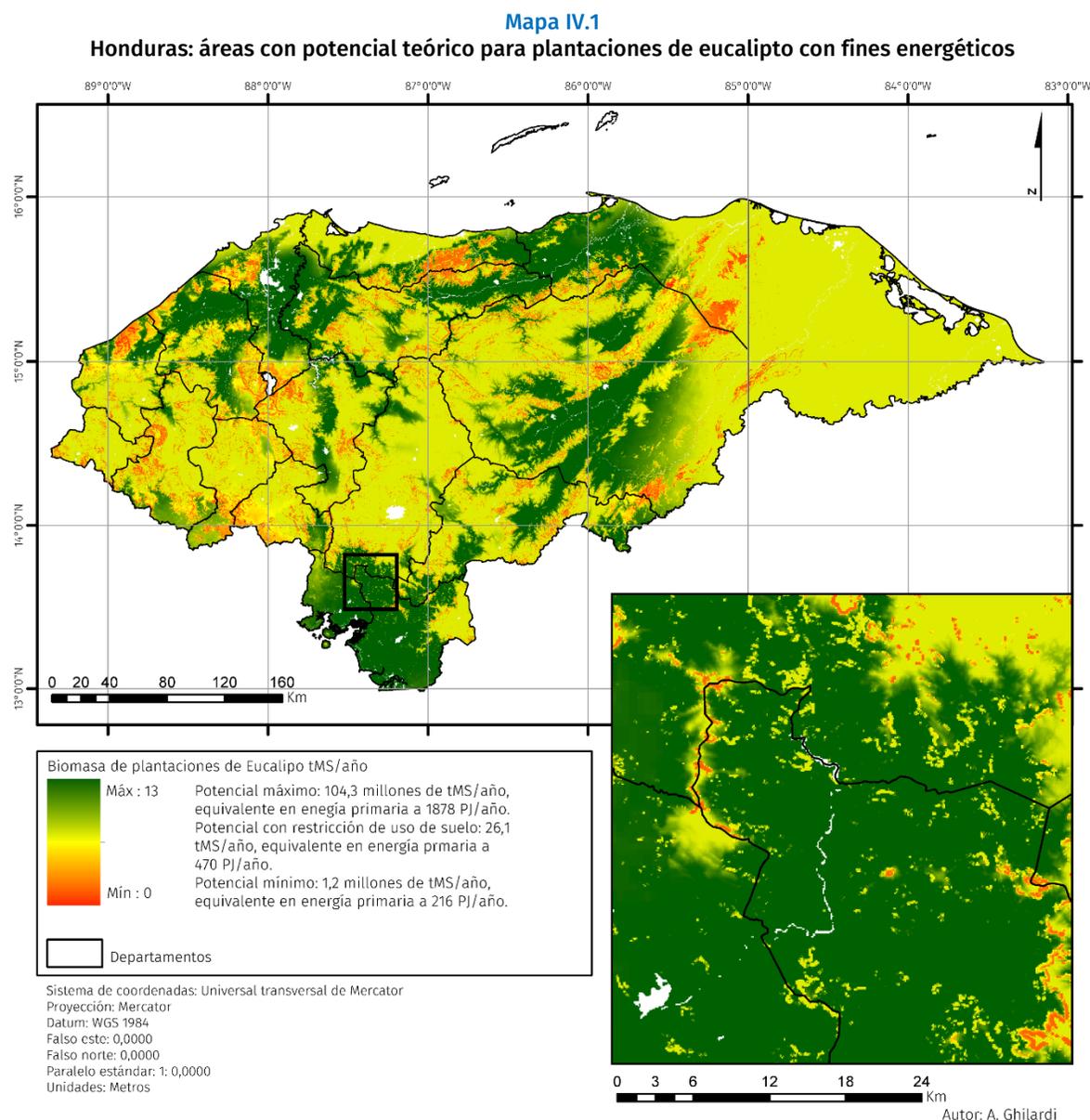
Los principales productos no maderables que se aprovechan son la leña, el carbón y las astillas de ocote, destinadas principalmente al sector residencial y, en menor medida, a la pequeña, mediana y gran industria. Al momento de realizar este estudio no se contaba con información sobre la demanda actual de biocombustibles sólidos procesados (ejemplo, pellets o astillas) en tecnologías de pequeña, mediana o gran escala.

2. Plantaciones forestales dedicadas

Fuentes de producción

Para estimar el potencial de plantaciones energéticas se incluyeron solo las áreas con vegetación secundaria, considerando que no es recomendable establecer plantaciones donde existen actualmente bosques, selvas u otros usos productivos del suelo. La estimación se basa en la clasificación de áreas según su aptitud de calidad para la producción de madera para energía. De acuerdo con las superficies obtenidas de los mapas, se calcula la disponibilidad de madera para fines energéticos, con lo que se obtiene un potencial que puede o no desarrollarse, a diferencia del potencial energético estimado para la industria forestal y los bosques nativos, que considera la existencia actual de los recursos y se entiende como un potencial técnico de disponibilidad inmediata.

En el mapa IV.1 se puede observar la representación del potencial teórico de todo el país, considerando exclusivamente como plantación forestal al eucalipto¹⁵. Se utiliza esta especie a manera de ejemplo, aun cuando, en la práctica la decisión sobre qué especies utilizar en plantaciones forestales energéticas deberá tomar en cuenta no solo la viabilidad técnica y económica, sino también los efectos sobre la biodiversidad y el medio ambiente.



Fuente: Elaboración propia.

¹⁵ Se utilizó, a modo de ejemplo, el caso del eucalipto. Existen opiniones contradictorias con respecto a los efectos ambientales de plantaciones de esta especie, como la disminución de la biodiversidad y degradación de suelos y mantos acuíferos, aun cuando para otras especies alternativas también se pueden encontrar opiniones diversas sobre su adecuación para su uso en plantaciones forestales.

Las zonas con mayor potencial para la producción de biomasa a partir de plantaciones forestales de eucalipto (la especie utilizada a manera de ejemplo para este estudio) se distribuyen principalmente al norte y sur del país, coincidiendo aproximadamente con las regiones de mayor precipitación anual. Como se aprecia en el mapa IV.1, los departamentos con mejores condiciones (mayores índices de aptitud) para las plantaciones forestales son Valle y Choluteca, al sur; y Olancho, Colón, Yoro, Cortés y Santa Bárbara, al centro y norte del país. La viabilidad técnica de la generación de bioenergía a partir de plantaciones forestales dependerá de la elección de especie y de las restricciones de sustentabilidad como uso de suelos desnudos o marginales y la exclusión de áreas naturales protegidas.

En la primera fila del cuadro IV.2 se puede observar el potencial teórico existente para la generación de energía a partir de plantaciones forestales¹⁶ (1.878 PJ/año), sin contemplar restricciones físicas de acceso. Para obtener un potencial viable, se restringe la oferta de biomasa con base a ciertos criterios de producción y accesibilidad. Uno de los criterios de sustentabilidad es que las plantaciones forestales se podrían realizar en suelos desnudos (superficies desprovistas de vegetación por causas naturales o antropogénicas), además de utilizar como restricciones las pendientes mayores a 10 grados y, por supuesto, la imposibilidad de utilizar las áreas naturales protegidas. Con dichas restricciones se obtiene un potencial técnico de 216 PJ/año.

Cuadro IV.2
Honduras: potencial para la producción de madera para energía a partir de plantaciones forestales

	Superficie (en millones de ha)	Disponibilidad de madera para energía (en millones de tMS/año)	Equivalente en energía primaria (en PJ/año)	Potencia eléctrica instalada (en GWe)
Potencial teórico (sin restricciones)	10,9	104,3	1 878	14,0
Potencial técnico	1,2	11,9	216	1,3

Fuente: Elaboración propia.

La disponibilidad de madera estimada en el cuadro IV.2 puede ser convertida en energía térmica o eléctrica. A modo de ejemplo, si se considera el potencial técnico (11,9 millones de tMS/año), se obtiene una potencia eléctrica instalada de 1,3 GWe. Para llegar a este valor se consideró la transformación de la plantación en astillas, con un contenido de humedad del 35%, un coeficiente de aprovechamiento del recurso del 90% y un factor de planta del 80% (véase la ecuación 2 en el capítulo III).

3. Aprovechamiento de bosques nativos

a) Fuentes de producción

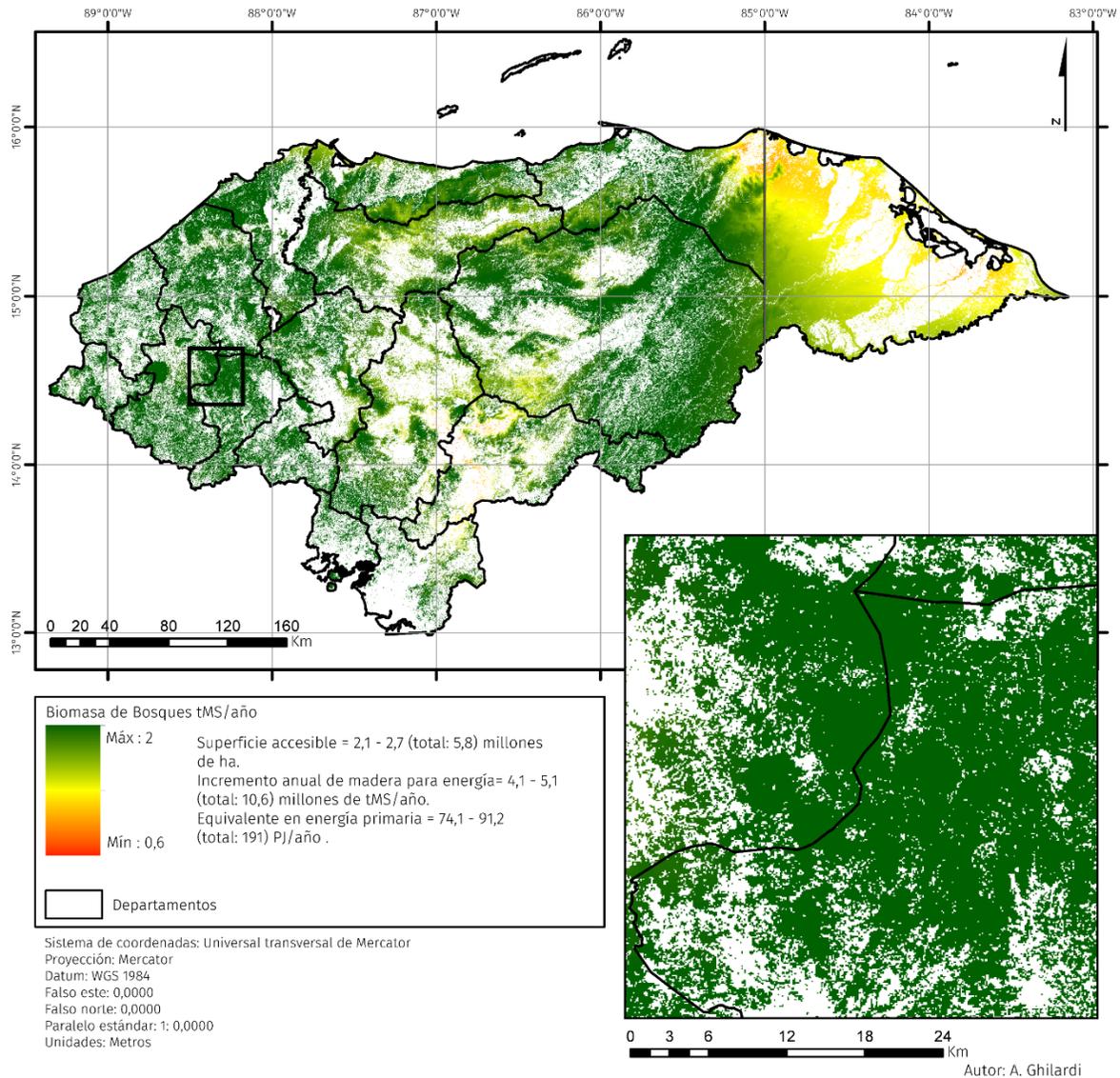
Las fuentes de recursos actualmente incluyen a la biomasa leñosa (viva o muerta) directamente extraída de árboles y arbustos que crecen en bosques naturales y otras coberturas leñosas (por ejemplo, matorrales). Se excluyen las partes de los árboles y arbustos que se destinan a usos no energéticos (madera para aserrar, para construcción, celulosa y papel, entre otros), que se deducen aplicando un coeficiente o factor de uso energético (FUE), que es el cociente de la biomasa apta únicamente para energía entre la biomasa leñosa total. Se supone el uso energético de los bosques como complemento y no como uso exclusivo.

¹⁶ Para efectos de este estudio y, a modo de ejemplo, la plantación dedicada que se consideró es el eucalipto.

En los mapas IV.2, IV.3 y IV.4 se puede observar la distribución espacial de los tipos de vegetación a lo largo de todo el país. Se puede apreciar que hay bosques ampliamente distribuidos en el territorio. Para el aprovechamiento energético de este recurso es muy importante considerar los costos asociados a su extracción y transporte. Estos costos dependen principalmente del acceso a tecnologías eficientes para la extracción de madera y de las condiciones de la infraestructura de caminos.

Mapa IV. 2

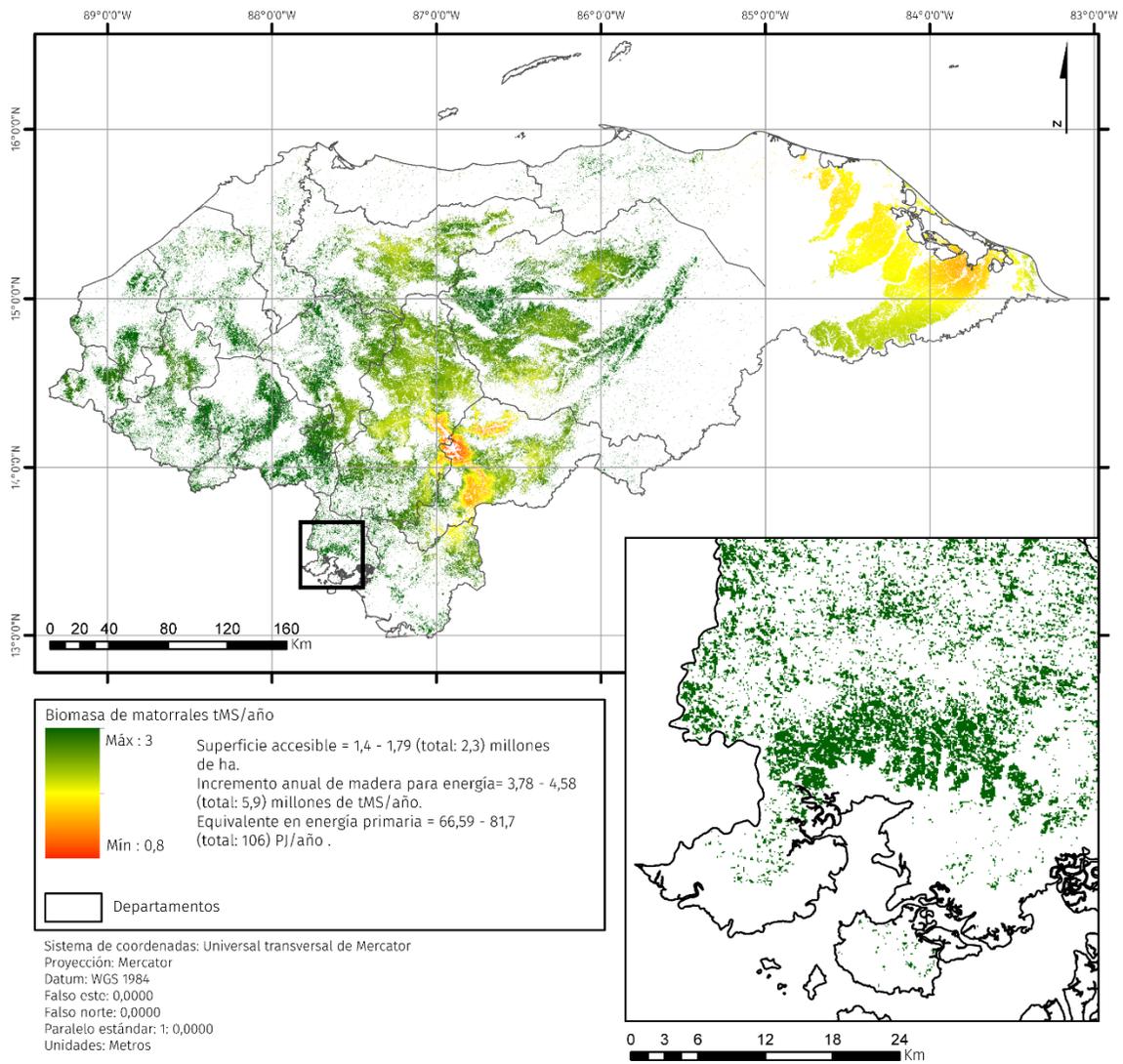
Honduras: distribución espacial de la accesibilidad de la biomasa proveniente de bosques naturales



Fuente: Elaboración propia.

Mapa IV.3

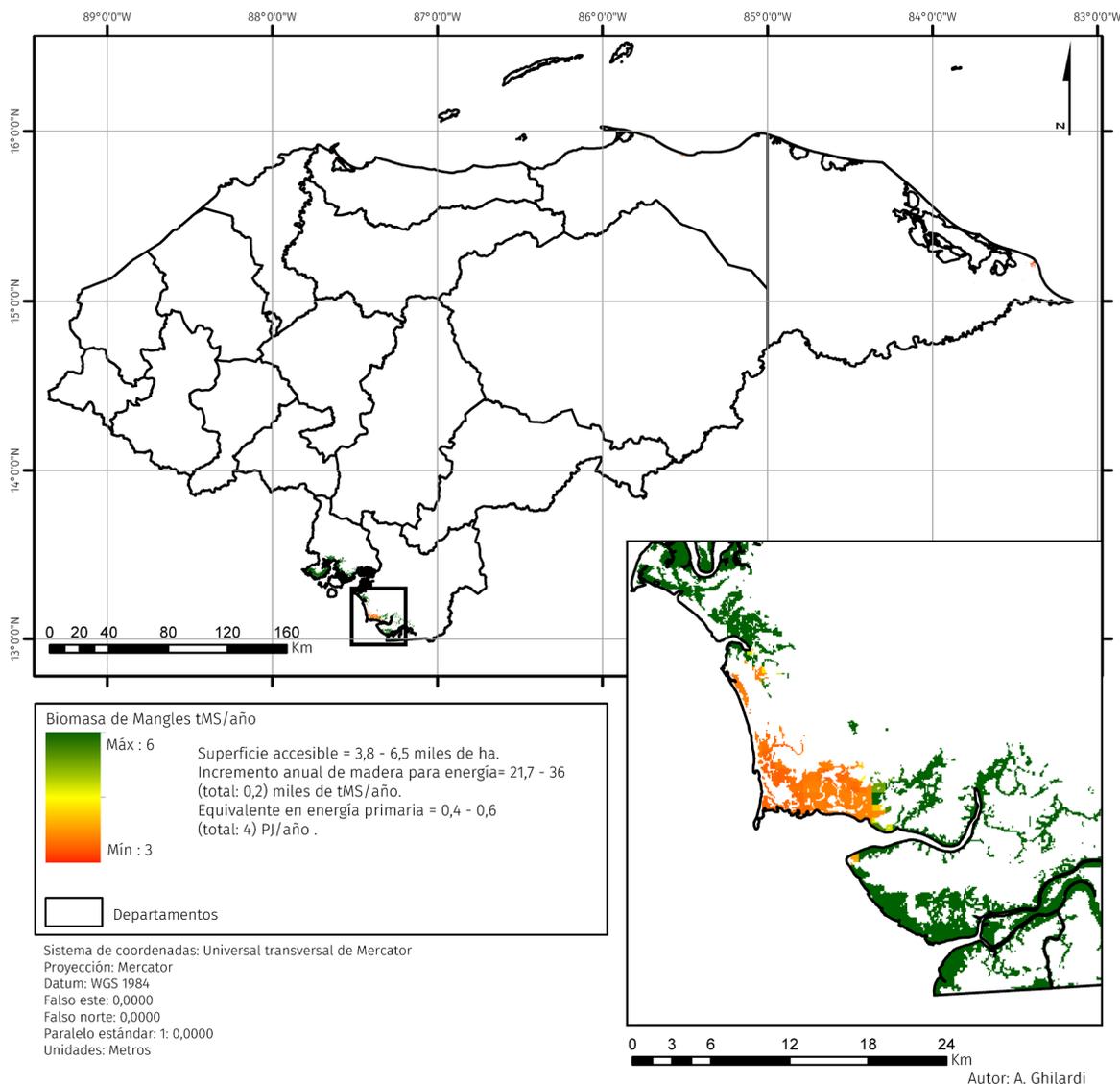
Honduras: distribución espacial de la accesibilidad de la biomasa proveniente de matorrales



Fuente: Elaboración propia.

Mapa IV.4

Honduras: distribución espacial de la accesibilidad de la biomasa proveniente de manglares



Fuente: Elaboración propia.

Las zonas con mayor potencial para la producción de biomasa a partir de bosques naturales se encuentran en los departamentos de Olancho, Colón, Atlántida, Cortés, Santa Bárbara e Intibucá, que tienen el mayor incremento anual de madera de bosques que podría utilizarse con fines energéticos (véase el mapa IV.2). En lo que respecta a los matorrales, las zonas con mayor potencial para la producción de bioenergía se encuentran dispersas en pequeñas zonas, principalmente en el centro del país. En el caso del mangle, las zonas con mayor potencial se encuentran en pequeñas fracciones al sur del país en las costas del Golfo de Fonseca de los departamentos de Valle y Choluteca.

Hay un potencial muy importante en los bosques nativos que podría ser aprovechado con fines energéticos. En el cuadro IV.3 se detallan los potenciales teóricos para diferentes tipos de coberturas forestales. Este potencial no considera ningún tipo de restricción física de

acceso a la biomasa. Sin embargo, para casos prácticos es necesario considerar ciertas restricciones para el aprovechamiento del recurso, que convierte al potencial teórico en un potencial técnico, como la restricción de no utilizar áreas naturales protegidas.

Así, en el cuadro IV.3 se detalla el potencial técnico para los diferentes tipos de vegetación. Se puede ver que para cada tipo de cobertura hay un valor de superficie accesible obtenido al considerar algunas restricciones de accesibilidad (incluyendo la imposibilidad de utilizar áreas naturales protegidas). Considerando las restricciones de accesibilidad, se obtiene una superficie de 2,1 millones de ha para bosque, 1,4 millones de ha para matorral y 4.000 ha para mangle que al ser multiplicadas por la productividad de cada sitio da como resultado un potencial técnico de 74,1, 66,5 y 0,4 PJ/año, respectivamente.

Cuadro IV.3
Honduras: potencial teórico de existencias y productividad de combustibles de madera provenientes de bosques naturales

Tipo de cobertura forestal	Superficie accesible (en millones ha)	Productividad máxima (en tMS/ha/año)	Incremento anual de madera para energía (en millones tMS/año)	Equivalente en energía primaria (en PJ/año)
Bosque	5,80	2	10,6	191
Matorral	2,30	3	5,9	106
Mangle	0,04	6	0,2	4
			Total	301

Fuente: Elaboración propia.

La disponibilidad de madera estimada en el cuadro IV.4 puede ser convertida en energía térmica o eléctrica. A modo de ejemplo, si se consideran las superficies accesibles para cada tipo de vegetación (2,1, 1,4, y 0,004 millones de ha para bosque, matorral y mangle, respectivamente), se puede calcular la potencia eléctrica instalada total para bosques naturales que equivaldría a 1,506 GWe. En este ejemplo, para llegar a este resultado se consideró la transformación de los recursos en pellets, una eficiencia de planta del 30% y un factor de planta del 80% (véase la ecuación 2 en el capítulo III).

Cuadro IV.4
Honduras: potencial técnico de biomasa proveniente de bosques naturales

Tipo de cobertura forestal	Superficie accesible (en millones ha)	Incremento anual de madera para energía (en millones tMS/año)	Equivalente en energía primaria (en PJ/año)	Ejemplo: potencia eléctrica instalada (en GWe)
Bosque	2,1	4,1	74,1	0,8
Matorral	1,4	3,7	66,5	0,7
Mangle	0,004	0,02	0,4	0,006
			Total	1,506

Fuente: Elaboración propia.

b) Consumo actual

Es importante que el país aproveche eficientemente el potencial técnico de sus recursos forestales, por lo que es necesario realizar evaluaciones económicas de diferentes alternativas de uso final de dichos recursos. Actualmente la biomasa proveniente de los bosques nativos se utiliza principalmente para la producción de leña y carbón. Honduras tiene una gran

dependencia de la leña para cubrir las necesidades de energía para cocción de alimentos de los hogares. El consumo de leña pasó de 5,5 millones de m³ en 1990 a casi 8 millones de m³ en 2017 (Naciones Unidas, 2019). De acuerdo con la *Encuesta Permanente de los Hogares de Propósitos Múltiples 2016*, un 48% de los hogares hondureños utilizaba leña como principal fuente de energía para cocinar.

B. Biomasa de residuos agropecuarios

Al momento de realizar este estudio no se contó con información georreferenciada o geoespacial para evaluar los residuos agropecuarios, pero se sabe que un importante porcentaje de residuos agroindustriales en Honduras se utiliza en el sector industrial para cogeneración o bien en la generación de electricidad para la red nacional de distribución. Como se mencionó antes, al analizar el uso moderno de la bioenergía en Honduras, hay diversas plantas que generan energía utilizando bagazo de caña, *king grass*, clon de caña común y efluentes de aceite de palma africana (biogás). Es importante que en futuros trabajos se evalúe el potencial de producción de biogás por medio de residuos del sector pecuario, que podría ser utilizado para generar electricidad, principalmente para autoconsumo.

C. Cultivos dedicados

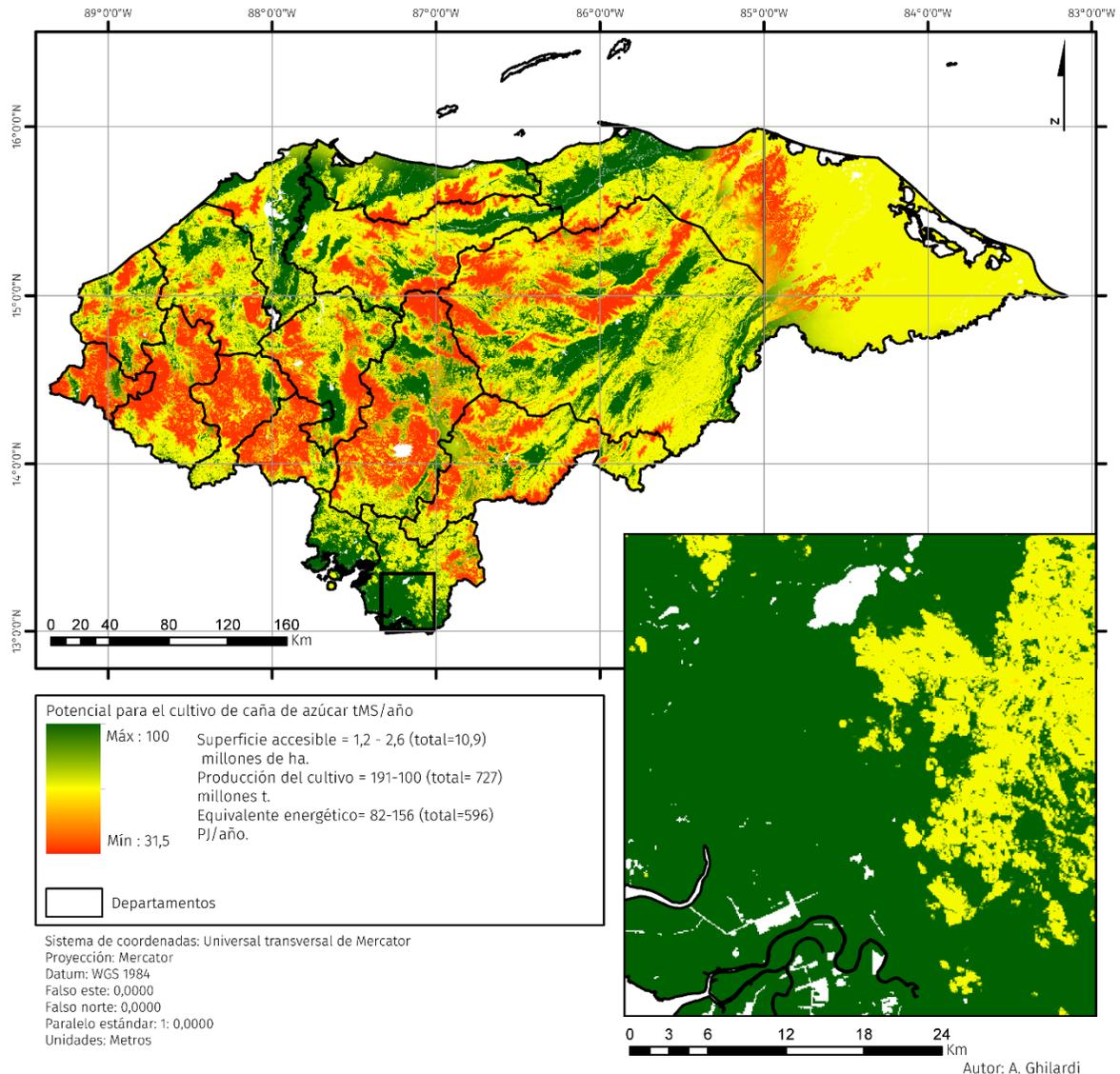
Fuente

Se estimó el potencial de producción de etanol y biodiésel por medio de plantaciones dedicadas de caña de azúcar y de palma de aceite, respectivamente. La caña de azúcar es uno de los principales cultivos en Honduras, cuya producción anual se destina principalmente al consumo nacional y en un menor porcentaje se destina a la exportación. Actualmente se proyectan aumentos de la producción anual, existiendo tierras disponibles que podrían ser aptas para obtener buenos rendimientos en el cultivo de caña.

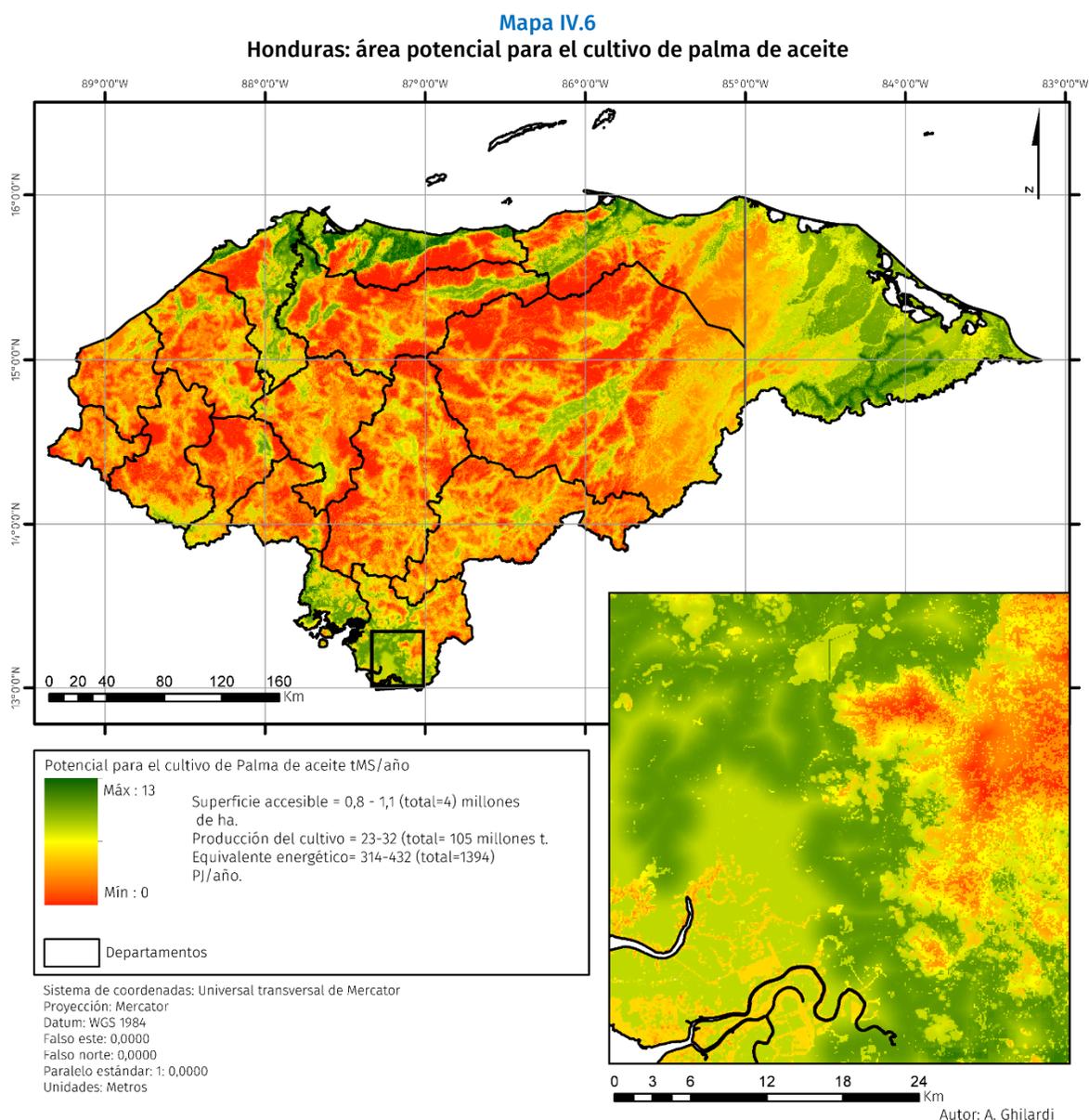
Por otro lado, Honduras es uno de los mayores productores y exportadores de aceite de palma en América Latina, cuyo mayor cliente es el mercado europeo. No obstante, frente a la incertidumbre que genera el consumo de este aceite en Europa para los próximos años, es importante desarrollar un mercado y uso local del aceite, que podría estar destinado a la producción de biodiésel. Además de las tierras que actualmente se emplean para el cultivo de la palma, es interesante analizar tierras potencialmente disponibles que permitan aumentar la producción, como se muestra en el mapa IV.6.

En el mapa IV.5 se puede observar que las zonas con mayor potencial para el cultivo de caña de azúcar se encuentran repartidas al norte, centro y sur del país, incluyendo los departamentos de Choluteca, Valle, Colón, Atlántida y Cortés, que tienen los mejores índices de aptitud para el cultivo de caña. En el mapa 6 se observa que el mayor potencial para el cultivo de palma se encuentra al norte de país, entre los departamentos de Gracias a Dios, Colón, Atlántida y Cortés.

Mapa IV.5
Honduras: área potencial para el cultivo de caña de azúcar



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro IV.5 se resumen los potenciales para la caña de azúcar y la palma de aceite según las productividades, que varían de acuerdo con el índice de aptitud del terreno y a los criterios de accesibilidad. La caña de azúcar tiene un potencial teórico (sin restricciones) que alcanza los 596 PJ/año (si solo se destina el 50% de la producción de caña de azúcar para generar etanol). Considerando como área potencial para el cultivo de caña los suelos desnudos o con matorrales, excluyendo las áreas naturales protegidas y los terrenos en lugares con pendientes mayores a 10° se podrían producir más de 7.038 millones de litros de etanol, lo que equivale a 82 PJ/año. En el caso de la palma de aceite el potencial teórico (sin restricciones) es de 31.320 millones de litros de biocombustible, equivalentes a 1.394 PJ/año. Al considerar las restricciones de accesibilidad ya mencionadas para el caso de la caña de azúcar, el potencial técnico de la palma de aceite es de 7.077 millones de litros de biodiésel, equivalentes a 314 PJ/año.

Cuadro IV.5
Honduras: potencial para la producción de etanol y biodiésel

Cultivo	Potencial	Superficie potencial (en millones de ha)	Rendimiento promedio del cultivo según aptitud (en t/ha)	Producción cultivo (en millones de t)	Producción de biocombustible (en millones de litros)	Equivalente energético (en PJ/año)
Etanol						
Caña de azúcar	Potencial teórico (sin restricciones)	10,9	66,3	727	50 587	596 ^a
	Potencial técnico	1,2	86,16	100	7 038	82 ^a
Biodiésel						
Palma de aceite	Potencial teórico (sin restricciones)	4,0	26,1	105	31 320	1 394
	Potencial técnico	0,8	28,7	23	7 077	314

Fuente: Elaboración propia.

^a El equivalente energético del cultivo de caña de azúcar considera que solo el 50% de la producción estaría destinada a la producción de etanol.

Capítulo V

Oferta potencial de biomasa y análisis de la producción actual de electricidad

A. Oferta potencial de biomasa

Honduras cuenta con un considerable potencial técnico de recursos biomásicos que se podría aprovechar con fines energéticos y ampliar la participación de la bioenergía en la matriz energética nacional. El potencial técnico estimado en este estudio alcanza los 756,5 PJ/año (véase el cuadro V.1). El potencial económicamente viable dependerá, entre otros factores, de la demanda, costos y precios relativos, en tanto que el potencial de implementación dependerá de la consideración de factores como los impactos socioambientales y aspectos tecnológicos y de mercado.

En el caso de las plantaciones forestales y los cultivos dedicados se trata de un potencial no existente en la actualidad, que es estimado para diferentes aptitudes o condiciones de crecimiento. Los bosques nativos aportan el mayor potencial técnico de madera que podría ser utilizada con fines energéticos, mientras que los subproductos de la industria de la madera generan un potencial de uso inmediato. Cabe aclarar que esta es una primera estimación del potencial forestal y sería necesario complementar el estudio con una evaluación económica.

Los cultivos energéticos de caña de azúcar y palma de aceite generan un potencial muy importante para la producción de etanol y biodiésel, respectivamente. Entre ambos cultivos se podría producir suficiente biocombustible como para satisfacer toda la demanda actual de gasolina y diésel en el sector transporte, considerada en 49.000 barriles equivalentes de petróleo diarios (0,3 PJ día) según datos de la CEPAL (2019).

Cuadro V.1**Honduras: potencial técnico de recursos biomásicos para uso energético considerados en este estudio**

Recurso	Residuo/producto generado	Potencial energético (PJ/año)
Sector forestal		
Subproducto de extracción y de la industria de transformación	Puntas, ramas, recortes, aserrín, costaneros	3,5
Plantaciones dedicadas	Leña	216
Bosques nativos	Leña	141
Cultivos dedicados		
Caña azúcar	Etanol	82
Palma de aceite	Biodiésel	314
Total		756,5

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del cuadro V.1 fueron obtenidos considerando poderes caloríficos promedios para cada recurso. A modo de resumen, se muestran en el cuadro V.2 los contenidos energéticos considerados para cada recurso biomásico en Gigajoules por tonelada de materia seca (GJ/tMS) o Megajoules por litro (MJ/litro).

Cuadro V.2**Poderes caloríficos considerados para calcular los potenciales energéticos de recursos biomásicos considerados en este estudio**

Recurso	Poder calorífico inferior
Subproductos del aprovechamiento y la industria forestal (leña, aserrín, viruta, recortes)	18 (GJ/tMS)
Plantaciones forestales dedicadas (leña)	18 (GJ/tMS)
Aprovechamiento de bosques nativos (leña)	18 (GJ/tMS)
Cultivos dedicados (etanol de caña de azúcar)	23,4 (MJ/litro)
Cultivos dedicados (biodiésel de palma)	44,4 (MJ/litro)

Fuente: Elaboración propia.

B. Análisis de la producción actual de electricidad a partir de biomasa

La generación de energía eléctrica en el país depende principalmente de plantas termoeléctricas a base de diésel importado (Espinasa y otros, 2017). Debido a la tendencia del incremento en los costos de los combustibles fósiles en el mercado internacional, existe un enorme potencial para el uso de biomasa en las centrales eléctricas, que además ayudaría a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas. En este contexto, actualmente hay numerosos casos de producción de electricidad con biomasa en empresas privadas de Honduras, donde la energía producida es destinada a clientes propios o a la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE).

Los principales recursos biomásicos utilizados como combustibles son el bagazo de caña de azúcar, *king grass*, residuos forestales y raquis de palma. En el cuadro V.3 se detalla la demanda actual de biomasa en el sector eléctrico del país, según información de la ENEE, donde el consumo actual de biocombustibles sólidos supera los 17 PJ/año. Este último dato puede ser aún mayor, pues es muy probable que la energía reportada no incluya el autoconsumo sino solo la energía inyectada a la red eléctrica.

Cuadro V.3
Honduras: producción de electricidad mediante biomasa

Nombre de Central	Capacidad Instalada (en MW)	Energía producida (en MWh/año)	Consumo de biomasa (en tMS/año)	Equivalente energético (en PJ/año)
Tres Valles	7,5	166 440	3 413	0,6
Central Tres Valles	12,3	272 962	58 077	1,0
Caracol Knits	18,6	461 652	98 224	1,7
Central El Progreso	9,3	244 404	52 001	0,9
Cogeneración La Grecia	16	408 800	86 979	1,5
Cogeneración de Energía Eléctrica Azucarera La Grecia	18,5	472 675	100 569	1,7
COINSU	1	17 520	3 728	0,1
EECOPALSA	5,6	138 992	29 573	0,5
Geopalsa	1,275	26 061	5 545	0,1
HGPC	43	1 130 040	240 434	4,1
Jaremar	25	540 200	114 936	2,0
Merendon	18,6	461 652	98 224	1,7
Palcasa	5,5	118 041	25 115	0,4
Santa Matilde	34	397 120	84 494	1,4
Total			1 033 313	17,6

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE).

Nota: Es probable que la energía reportada no incluya el autoconsumo, sino únicamente la energía eléctrica inyectada al Sistema Interconectado Nacional de Honduras, por lo que la producción podría ser mayor.

El análisis que se realizó del potencial energético de los recursos biomásicos se concentra en la oferta y demanda para usos productivos de mediana y gran escala. En el anexo I se podrá encontrar un breve análisis prospectivo del impacto del uso tradicional de leña y carbón vegetal (principalmente para cocción de alimentos) utilizando la metodología MoFuSS (cuya metodología se explica en el anexo 2), considerando la importancia de esto en el caso de Honduras, pues, como se puede apreciar en los cuadros II.2, II.3 y II.4 del capítulo II de este documento, los hogares hondureños siguen utilizando leña como principal combustible para cocinar en poco más del 48% de los casos en 2016 (casi 78% en el caso de hogares rurales).

Capítulo VI

Conclusiones y reflexiones finales

Si consideramos que la demanda total de energía en Honduras es de 115.000 barriles de petróleo equivalente (bep) por día (Espinasa y otros, 2017), que equivale a 42 millones de bep al año o 257 PJ/año, el potencial de biomasa obtenido (756,5 PJ/año) sería suficiente para cubrir las necesidades energéticas del país, incluso si no llegaran a aprovecharse todos los recursos biomásicos disponibles. A continuación se analizan los resultados obtenidos de acuerdo con el tipo de recurso analizado.

A. Biomasa forestal

1. Residuos forestales, de la industria forestal y aprovechamiento de plantaciones forestales

El mayor potencial técnico de biomasa proviene principalmente del sector forestal. El potencial que proviene del aprovechamiento forestal y de la industria de la madera es muy interesante dado que es un recurso existente y su aprovechamiento depende principalmente de la disponibilidad tecnológica, de la infraestructura de caminos y de las condiciones económicas para su uso final. En este estudio se estiman 130.000 tMS de subproductos de la extracción forestal y 70.000 tMS de subproductos de la industria maderera, con un potencial energético combinado de 3,5 PJ al año. Dicha estimación refleja el importante potencial que tienen los

recursos forestales, considerando que el aprovechamiento energético reportado¹⁷ de los subproductos de dichos recursos en 2017 fue de 4.375 tMS¹⁸ y 7.056 tMS en 2018¹⁹.

La corta anual permisible en el acumulado hasta 2018 de las 872 áreas bajo manejo forestal es de 701.144,05 m³, lo cual equivale²⁰ a unas 350.572 tMS, en una superficie equivalente a 421.773,65 hectáreas (ICF, 2018). Asimismo, entre 2009 y 2018 se han certificado 4.027 plantaciones forestales equivalentes a 28.885,88 hectáreas (ICF, 2018). En este estudio se determinó que el potencial técnico para la producción de madera con fines energéticos²¹ corresponde a 1,2 millones de hectáreas, con una disponibilidad de madera de 11,9 millones de tMS y un potencial energético de 216 PJ/año.

Sin embargo, es necesario contar con más información para determinar cuáles serían las especies a utilizar y la superficie máxima que ocuparían los terrenos que podrían acogerse a los planes de manejo forestal y los correspondientes a las plantaciones forestales certificadas en Honduras, al igual que el uso que se les daría, pues no todo corresponde a aprovechamiento para usos productivos, ya que en algunos casos también se persiguen fines de protección, conservación y restauración, incluso en el caso de las plantaciones forestales. En ese sentido, a pesar de que el potencial de las plantaciones forestales es mayor que el de los subproductos del sector forestal en este estudio, se trata de un potencial que puede o no desarrollarse, a diferencia del potencial energético estimado para los subproductos del aprovechamiento forestal.

2. Aprovechamiento de bosques nativos

En este estudio se estimó en unos 8 millones de tMS/año el incremento anual de madera para energía en el caso de la biomasa proveniente de bosques naturales. El aprovechamiento reportado²² de leña pasó de 55.737 tMS en 2014 a 4.785 tMS en 2018, como puede observarse en el cuadro VI.1 (ICF, 2018), lo cual no incluye la gran cantidad estimada²³ de leña que se consume en los hogares, equivalente a unos 6 millones de tMS/año (véase el gráfico II.5).

Cuadro VI.1
Honduras: aprovechamiento reportado de leña, 2014-2018
(En cargas y tMS)

Años	Leña (cargas)	tMS
2014	195 009	45 296
2015	138 701	32 217
2016	149 813	34 798
2017r	21 443	4 981
2018p	16 747	3 890

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto de Conservación Forestal (ICF), *Anuario estadístico forestal*, año 2018.

Notas: r = revisado, p = preliminar.

1 carga = 0,3097 m³; 1 m³ = 750 kg.

¹⁷ Se asume que las cifras reportadas por el ICF se refieren a toneladas de materia seca (tMS); sin embargo, la unidad original de la fuente consultada es la tonelada métrica. En caso de referirse a toneladas de masa húmeda, la cifra reportada por el ICF se reduciría por un factor que depende del contenido de humedad del recurso biomásico.

¹⁸ Cifra revisada (ICF, 2018).

¹⁹ Cifra preliminar (ICF, 2018).

²⁰ Se asume que las cifras reportadas por el ICF se refieren a toneladas de materia seca (tMS); sin embargo, la unidad original de la fuente consultada es la tonelada métrica. En caso de referirse a toneladas de masa húmeda, la cifra reportada por el ICF se reduciría por un factor que depende del contenido de humedad del recurso biomásico.

²¹ Tomando como ejemplo plantaciones de eucalipto.

²² Cifra preliminar (ICF, 2018).

²³ Se asume que las cifras reportadas por Naciones Unidas se refieren a toneladas de materia seca (tMS); no obstante, la unidad original de la fuente consultada es la tonelada métrica. En caso de referirse a toneladas de masa húmeda, la cifra reportada por Naciones Unidas se reduciría por un factor que depende del contenido de humedad del recurso biomásico.

Las cifras anteriores implican que el potencial estimado es suficiente para cubrir las necesidades energéticas de consumo de leña para cocción de alimentos, bajo el patrón de consumo actual. Sin embargo, el uso de tecnologías más eficientes para la cocción de alimentos, como estufas mejoradas de leña, podrían disminuir las necesidades energéticas de los hogares, dejando un mayor margen para el aprovechamiento de la leña en usos industriales.

B. Biomasa agropecuaria

En este estudio se estimó el potencial energético de dos cultivos dedicados para Honduras, la caña de azúcar y la palma de aceite, para la producción de etanol y biodiésel, respectivamente. En el caso de la caña de azúcar se estimó un potencial técnico con una producción de etanol de 7.038 millones de litros (equivalentes a 82 PJ), mientras que en lo que respecta a la palma de aceite se estimó una producción de 7.077 millones de litros de biodiésel. El Gobierno hondureño proyectó que entre 2012 y 2015, la producción de etanol a partir de caña de azúcar podría llegar a ser de 450.000 barriles por año (aprox. 71,6 millones de litros por año)²⁴ y la de biodiésel a partir de palma africana, *Jatropha* (piñón) e higuera podría ser de 300.000 galones por año (aprox. 1,1 millones de litros por año) (Barjum, Pineda y Mejía, 2012), lo que permite inferir que existe un potencial importante en el caso de cultivos dedicados en Honduras. No obstante, para el caso del potencial de implementación (el más cercano a la realidad), las estimaciones obtenidas en este reporte deberán ser ajustadas según las variables biofísicas de crecimiento de los cultivos.

Debido a las limitaciones de la información geoespacial y estadística, en este estudio no se consideraron otros cultivos dedicados y residuos agropecuarios para la evaluación del potencial energético. Sin embargo, existe un potencial importante para la producción de biocombustibles no solo mediante caña de azúcar y palma africana²⁵, sino también por medio de *Jatropha* (piñón) e higuera (Barjum, Pineda y Mejía, 2012), situación que se beneficia de la Ley para la Producción y Consumo de Biocombustible (Decreto Núm. 295-2013) en Honduras.

Asimismo, como se ha analizado en el caso de la producción de electricidad mediante biomasa (véase la sección B en el capítulo V), los ingenios azucareros pueden utilizar el bagazo de caña para cogeneración, la industria de la palma africana ha utilizado residuos para generar energía y los efluentes del aceite de la palma africana para producir biogás, y el *king grass*, el clon de la caña común y residuos de madera han sido usados en diferentes industrias para generar energía. También se han desarrollado proyectos de pequeña escala para generación de biogás a través del tratamiento de las aguas residuales y de residuos sólidos de plantaciones del café²⁶. La cascarilla del café, usada normalmente para el secado del café, también podría usarse para generar energía²⁷, al igual que la pulpa²⁸. Del maíz, uno de los productos agrícolas cuya superficie de cultivo se encuentra entre las mayores en Honduras, podrían aprovecharse los rastrojos para producir energía.

En lo que respecta a los residuos pecuarios, si bien existe un potencial para la producción de biogás con los residuos generados en empacadoras y procesadoras de carne bovina y porcina, ganado bovino para ordeña, procesadoras de leche y lácteos, granjas

²⁴ En 2012 fueron montadas tres plantas en la industria del café y dos plantas piloto de la OEA (Barjum, Pineda y Mejía, 2012).

²⁵ En 2012, se producían 300.000 barriles de biodiésel en refinerías como las de Jaremar, Exportadora del Atlántico, Hondupalma y Cooperativa Salama (Barjum, Pineda y Mejía, 2012).

²⁶ Véase, por ejemplo, el proyecto "Energy from Coffee Wastewater" de UTZ Certified (Residuos Profesional, 2014).

²⁷ De acuerdo con el CYTED (2018), en la temporada 2007-2008 se generaron 88.000 toneladas de cascarilla de café que podrían haber generado 16 MWe.

²⁸ El PNUD (2012) determinó que con la producción nacional de café cereza de la temporada 2009-2010 se podrían generar 94,1 MWT (potencia térmica) y 37,6 MWe (potencia eléctrica) usando los efluentes y la pulpa del café.

avícolas, granjas porquerizas y empacadoras de carne de pollos,²⁹ aún no se han realizado proyectos de largo alcance para el aprovechamiento de los residuos generados por el subsector pecuario y sus industrias asociadas (CEPAL, 2017).

C. Otros residuos biomásicos sólidos

Debido a la falta de información geoespacial y estadística, otros recursos biomásicos sólidos que no fueron analizados fueron los residuos pesqueros y acuícolas y los residuos sólidos urbanos. Honduras realiza actividad pesquera en el Mar Caribe, el Golfo de Fonseca y en ríos y lagos al interior del país, además de que hay actividad acuícola de camarón y tilapia (DIGEPESCA, 2007), por lo que es de esperar que se generen residuos biomásicos. Los órganos internos y otros desperdicios de pescado pueden ser usados, por ejemplo, para producir biodiésel (FAO, 2019b). Asimismo, las grandes áreas metropolitanas de Honduras (Tegucigalpa y San Pedro Sula) son candidatas para la generación de electricidad usando gas metano mediante la descomposición de biomasa en vertederos. Los ejemplos anteriores de recursos biomásicos con potencial energético podrían contribuir a diversificar aún más la matriz energética de Honduras y a aprovechar esos recursos que, posiblemente, no serían utilizados para otros fines.

D. Reflexiones finales

El sector eléctrico y las industrias que dependen de hidrocarburos para sus necesidades energéticas son mercados potenciales para implementar recursos biomásicos sólidos como energéticos en el corto plazo. Si se consideran las equivalencias de las estimaciones realizadas en este estudio en términos de barriles equivalentes de petróleo y de GWh, los recursos biomásicos podrían cubrir una parte importante de las necesidades energéticas de Honduras (véase el cuadro VI.2), considerando que en 2018 el consumo final de energía del país fue de 171 PJ (OLADE, 2020), mientras que la generación neta de electricidad fue de 8.810 GWh (CEPAL, 2020) y el consumo de petróleo y sus derivados alcanzó los 18,4 millones de barriles equivalentes de petróleo (bep) (CEPAL, 2019).

La producción de biocombustibles mediante cultivos dedicados (etanol y biodiésel) se estimó en 69 millones de bep y se estima que podrían generarse 15.551 GWh a partir de los subproductos de la extracción forestal, de la industria maderera, bosques nativos y plantaciones dedicadas³⁰, por lo que incluso si solo llegan a materializarse una porción de dichos potenciales técnicos, aún se cubre una buena parte de las necesidades energéticas del país. Además, si se considera el potencial de otros recursos biomásicos no considerados en este estudio (residuos agrícolas y pecuarios, principalmente), está claro que la bioenergía podría complementar otras energías renovables que se están desplegando en el país y cubrir parte de su demanda de energía, incluso si solo un porcentaje pequeño de su potencial técnico tiene viabilidad económica y ambiental.

²⁹ Flores Castro (2014) con base en datos de PNUD (2012) señala que hay un potencial de producción de biogás a partir de residuos pecuarios de 180 MWt (potencia térmica) y 72 MWe (potencia eléctrica).

³⁰ El cultivo que se utilizó como ejemplo para este estudio fue el eucalipto.

Cuadro VI.2
Honduras: potencial energético de recursos biomásicos y equivalencias
(En barriles equivalentes de petróleo (bep) y GWh)

Recurso	Potencial energético (en PJ/año)	Barriles equivalentes de petróleo (en miles)	Equivalente (en GWh)
Sector forestal			
Subproducto de extracción y de la industria de transformación	4	700	441
Plantaciones dedicadas	216	37 815	23 824
Bosques nativos	141	24 685	15 551
Cultivos dedicados			
Caña azúcar	82	14 356	9 044
Palma de aceite	314	54 972	34 632
Total	753	131 828	83 051

Fuente: Elaboración propia.

Los recursos biomásicos pueden tener múltiples aplicaciones, incluyendo la generación de electricidad, la cogeneración para industrias y la cocción de alimentos, calefacción y obtención de agua caliente. No obstante, hay factores que dificultan su viabilidad económica y de implementación. La heterogeneidad en la composición de la biomasa, junto con su baja densidad energética, por lo general implican utilizarla en las proximidades del lugar donde tiene su origen, además de que en algunos casos para el transporte eficiente de la biomasa es necesario recurrir a procesos de transformación que reduzcan el recurso a astillas, briquetas y pellets, por ejemplo (FAO, 2018).

A pesar de las dificultades que implican su heterogeneidad, disponibilidad, transporte y procesos de transformación, la utilización de recursos biomásicos con fines energéticos tiene el potencial de incidir positivamente en diferentes áreas (FAO, 2018):

- Mucha de la biomasa con potencial energético está ampliamente disponible en la forma de residuos biomásicos forestales, agropecuarios e industriales que en muchas ocasiones simplemente son descartados.
- La utilización de residuos biomásicos contribuye a disminuir el posible impacto ambiental de dichos residuos en los casos en que son descartados y no son eliminados adecuadamente, además de que las cenizas de algunos residuos pueden ser utilizadas como fertilizantes en sustitución de los fertilizantes químicos utilizados comúnmente (Hart y Rajora, 2009).
- En el caso de los residuos biomásicos forestales se disminuye la posibilidad de incendios, en tanto que en el caso de los residuos agrícolas puede disminuirse la probabilidad de plagas de insectos y puede evitarse la quema de dichos residuos.
- El uso moderno de la biomasa como energético en lugar de hidrocarburos contribuye a disminuir las emisiones de contaminantes.
- Las plantaciones con fines energéticos pueden utilizar tierras de barbecho —los terrenos agrícolas con menores rendimientos— y, en algunos casos, se pueden sembrar cultivos energéticos con otro tipo de cultivos.

- En el caso de los biocombustibles, si bien se corre el riesgo de que entre en competencia con sus usos alimentarios para consumo humano y de ganado, esto puede evitarse a través de la producción de biocombustibles de segunda y tercera generación³¹.
- Cuando los biocombustibles no entran en conflicto con la seguridad alimentaria, tienen el potencial de disminuir la dependencia de los hidrocarburos y sus derivados.

La bioenergía en las áreas agroforestales y rurales también puede impulsar el desarrollo económico mediante la generación de nuevas industrias y oportunidades de empleo en las comunidades donde se recolectan, procesan y comercializan los residuos biomásicos, y donde se cuenta con cultivos energéticos. El avance de la bioenergía se potenciará con el desarrollo de infraestructura que mejore la recolección, el procesamiento, el transporte, la distribución y la comercialización de los recursos biomásicos, contribuyendo a la mayor viabilidad económica y de implementación de los recursos biomásicos con fines energéticos.

Asimismo, es necesario promover la gestión sostenible de las fuentes de la biomasa a fin de evitar el deterioro de los recursos naturales, la biodiversidad, los ecosistemas y el medio ambiente. Para ello se pueden considerar medidas como las propuestas por Mendes Souza y otros (2018):

- Establecer paisajes agrícolas multifuncionales o zonificación agroecológica que sirva para producir cultivos y plantaciones con fines alimentarios y energéticos, pero que también tengan la función de conservar el entorno biológico, para lo que pueden implementarse pagos de servicios ambientales o ecosistémicos, no solo por cuestiones ambientales y ecológicas, sino también con fines productivos, alimentarios y sociales.
- Usar tierras marginales y degradadas debe considerarse siempre que se quieran expandir las tierras para producir bioenergía.
- Utilizar ciertos cultivos energéticos con altos rendimientos puede contribuir a proteger los suelos de la erosión y a añadir materia orgánica a los mismos, lo que se puede reafirmar mediante la rotación de ciertos cultivos energéticos con determinados cultivos para fines alimentarios.
- Es necesario gestionar de manera sostenible el uso de agua para la producción de cultivos y plantaciones energéticas, considerando que el sector agrícola es el principal consumidor de agua, a fin de no afectar a los ecosistemas, la biodiversidad y el medio ambiente en general.

Los resultados de este estudio se refieren a potenciales teóricos y técnicos. Como se presenta en la sección A del capítulo III, el potencial económico y de implementación de los recursos biomásicos para usos energéticos requiere de un análisis más detallado de oferta, demanda, costos y precios, no solo de los recursos biomásicos, sino de otros energéticos y de los usos que entran en competencia con la utilización de la biomasa para energía (por ejemplo, alimentación y otros usos industriales). Además, se requeriría analizar aspectos de mercado, de tecnologías a utilizar y posibles impactos ambientales y sociales.

³¹ Para producir biocombustibles de segunda generación se utilizan recursos biomásicos que no tienen usos alimentarios o desechos agrícolas o agroindustriales. En el caso de los combustibles de tercera generación, estos no utilizan tierra arable, por ejemplo, combustibles generados a base de algas y provenientes de la algacultura.

Asimismo, para mejorar la estimación del potencial técnico de los recursos evaluados es necesario, en primer lugar, afinar la estimación del potencial de las plantaciones forestales y de cultivos dedicados, considerando las calidades de suelos en las diferentes regiones del territorio nacional y sus aptitudes para los diferentes cultivos. Se deben considerar criterios de sustentabilidad para el aprovechamiento y uso de cada residuo, así como considerar sus costos de logística y de producción, además de los precios comparativos de los combustibles fósiles en el mercado nacional, a fin de determinar los potenciales económicos y sostenibles, respectivamente. Habiendo hecho esas consideraciones, el análisis del potencial energético de los recursos biomásicos permite conocer el inventario de recursos biomásicos disponibles en el país, que puede ser utilizado como parte de la planeación energética y en la formulación de políticas no solo del sector energía, sino también en otros sectores como agricultura y ganadería, forestal, ambiente y otros.

Bibliografía

- Ahrends, A. y otros (2010), "Predictable waves of sequential forest degradation and biodiversity loss spreading from an African city", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 107, N° 33 [en línea] <https://doi.org/10.1073/pnas.0914471107>.
- AINIA Centro Tecnológico (2015), "Lodos de depuradora: ¿Cómo transformarlos en biogás y nuevos biofertilizantes?" [en línea] <https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/tecnologia/lodos-de-depuradora-como-transformarlos-en-biogas-y-nuevos-biofertilizantes/>.
- Bailis, R. y otros (2015), "The carbon footprint of traditional woodfuels", *Nature Climate Change*, vol. 5 [en línea] <https://doi.org/10.1038/nclimate2491>.
- Barjum, D., I. Pineda y S. Mejía (2012), "Honduras y los biocombustibles", presentación en la Reunión Técnica y Taller de Planificación sobre Biocombustibles, Secretaría de Estado del Despacho Presidencial, Secretaría de Estado en los Despachos de Recursos Naturales y Ambiente y Secretaría de Estado en los Despachos de Industria y Comercio, La Antigua, Guatemala, 28 de marzo [en línea] <https://docplayer.es/16046133-Honduras-y-los-biocombustibles.html>.
- Blinn, Ch., D. Zamora y E. L. Taylor (2019), "Climate change and carbon sequestration", *Wood Energy Community of Practice* [en línea] <https://wood-energy.extension.org/climate-change-and-carbon-sequestration/>.
- Bowman, M. S. y otros (2012), "Persistence of cattle ranching in the Brazilian Amazon: A spatial analysis of the rationale for beef production", *Land Use Policy*, vol. 29, N° 3 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.09.009>.
- Carlson, K. M. y otros (2012), "Committed carbon emissions, deforestation, and community land conversion from oil palm plantation expansion in West Kalimantan, Indonesia", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* vol. 109, N° 19 [en línea] <https://doi.org/10.1073/pnas.1200452109>.
- Calderón Amaya, A. (2015), "Estimación de la disponibilidad de biomasa forestal para la generación de energía eléctrica en 10 zonas priorizadas", Programa Adaptación al Cambio Climático en el Sector Forestal-CLIFOR, Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), Tegucigalpa.
- Cantarello, E. y otros (2014), "Human impacts on forest biodiversity in protected walnut-fruit forests in Kyrgyzstan", *Journal of Sustainable Forestry*, vol. 33, N° 5 [en línea] <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10549811.2014.901918>.
- Carrasco-Díaz, G. y otros (2019), "A technical and socioeconomic approach to estimate forest residues as a feedstock for bioenergy in northern Mexico", *Forest Ecosystems*, vol. 6, N° 45 [en línea] <https://forestecosyst.springeropen.com/articles/10.1186/s40663-019-0201-3>.

- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (s/fa), CEPALSTAT [base de datos en línea] https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e.
- _____(s/fb), “Sistema de información agropecuaria de Centroamérica y la República Dominicana (SIAGRO)/CEPALSTAT” [base de datos en línea] https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e.
- _____(2020), *Estadísticas del subsector eléctrico de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA)*, 2018, Ciudad de México [en línea] <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45299-estadisticas-subsector-electrico-paises-sistema-la-integracion-centroamericana>.
- _____(2019), *Centroamérica y la República Dominicana: estadísticas de hidrocarburos, 2018*, Ciudad de México [en línea] <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45015-centroamerica-la-republica-dominicana-estadisticas-hidrocarburos-2018>.
- _____(2017a), *Informe de la reunión de expertos sobre la situación de la biomasa en países de Centroamérica y el Caribe y evaluación del potencial para su aprovechamiento energético* [en línea] <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40934>.
- _____(2017b), “El sector energético de Honduras: Diagnóstico y política energética”, *Memorias del Premio “Dr. Fernando Cuevas” 2010. Energía, cambio climático y desarrollo sostenible: los desafíos para América Latina* [en línea] https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47332/S1700889_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- CEPE (Comisión Económica para Europa) (2021), “Methane management: the challenge” [en línea] <https://unece.org/challenge>.
- Cey, E. y otros (2019), “Oil formation”, *Energy Education*, University of Calgary, Calgary, Canadá [en línea] https://energyeducation.ca/encyclopedia/Oil_formation.
- CINAM (Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C.) (2017), *Evaluación del potencial de la biomasa como parte de la matriz energética de México*, CINAM [en línea] https://www.researchgate.net/publication/314142701_Evaluacion_del_potencial_de_la_biomasa_como_parte_de_la_matriz_energetica_de_Mexico.
- Cleaves, B. (2021), “Biomass power improves forest health, benefits the environment”, *Biomass Magazine* [en línea] <http://biomassmagazine.com/articles/3575/biomass-power-improves-forest--health-benefits-the-environment>.
- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) (2019), “Project Search”, Clean Development Mechanism (CDM), United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) [en línea] <https://cdm.unfccc.int/Projects/projsearch.html>.
- CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) (2018), “Producción de Biometano para Combustible de Transporte a partir de Residuos de Biomasa (BIOMETRANS)” [en línea] <https://www.cytcd.org/es/biometrans>.
- Chacón, L. R., O. Coto y O. M. Flores (2018), *Actualización de la encuesta de biomasa como insumo para su incorporación en la matriz energética de Costa Rica*, Energía, Medio Ambiente y Desarrollo (EMA) [en línea] https://sepse.go.cr/documentos/Informe_Final_Actualizacion_Encuesta_Biomasa_SEPSE_CRUSA_EMA_2018.pdf.
- Chen, X. y otros (2014), “Assessing the effectiveness of payments for ecosystem services: An agent-based modeling approach”, *Ecology and Society*, vol. 19, N° 1 [en línea] <https://www.jstor.org/stable/26269475>.
- Chum, H. y otros (2011), “Bioenergy”, en O. Edenhofer y otros (eds.), *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*, Cambridge University Press [en línea] <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/>.
- Deaton, M. L. y J. J. Winebrake (2000), *Dynamic Modeling of Environmental Systems*, Springer, Nueva York.
- De Waroux, Y. L. y E. F. Lambin (2012), “Monitoring degradation in arid and semi-arid forests and woodlands: the case of the argan woodlands (Morocco)”, *Applied Geography*, vol. 32, N° 2 [en línea] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622811001573>.
- DIGEPESCA (Dirección General de Pesca y Acuicultura) (2007), *Diagnóstico pesquero y acuícola, Cadena de pesca y acuicultura*, Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), Tegucigalpa, M.D.C.

- Di Vita, G. y otros (2017), "A review of the role of vegetal ecosystems in CO₂ capture", *Sustainability*, vol. 9, N° 10 [en línea] <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/10/1840>.
- Drigo, R. y otros (2015), *TIER II: WISDOM Honduras - Analysis of woodfuel supply, demand and sustainability in Honduras*, Yale-UNAM [en línea] <https://cleancooking.org/wp-content/uploads/2021/07/425-1.pdf>.
- Eckholm, E. P. (1975), *The Other Energy Crisis, Firewood*, Worldwatch Institute, Washington.
- EESI (Environmental and Energy Study Institute) (2017), "Fact sheet. biogas: converting waste to energy" [en línea] <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogasconverting-waste-to-energy>.
- Eguigurens, L. (2015), *Propuesta normativa para el aprovechamiento de biomasa forestal con fines energéticos*, Instituto Nacional de Conservación y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre (ICF), Programa Adaptación al Cambio Climático en el Sector Forestal-CLIFOR, Tegucigalpa, Honduras.
- EIA (U.S. Energy Information Administration) (2018a), "Biomass explained" [en línea] https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=biomass_home.
- _____ (2018b), "Biomass explained. Waste-to-energy (Municipal solid waste)", [en línea] https://www.eia.gov/energyexplained/?page=biomass_waste_to_energy.
- ENEE (Empresa Nacional de Energía Eléctrica) (2019), *Boletín de datos estadísticos diciembre 2018*, Tegucigalpa, Honduras [en línea] <http://www.enee.hn/planificacion/2019/Boletin%20Estadistico%20Diciembre2018.pdf>.
- _____ (2019), *Cobertura del servicio de energía eléctrica en Honduras año 2018*, Tegucigalpa, Honduras [en línea] [http://www.enee.hn/planificacion/2019/DOCUMENTO%20DE%20COBERTURA%20DE%20ENERGIA%20ELECTRICA%20\(ENEE\)%202018.pdf](http://www.enee.hn/planificacion/2019/DOCUMENTO%20DE%20COBERTURA%20DE%20ENERGIA%20ELECTRICA%20(ENEE)%202018.pdf).
- Escuela Agrícola Panamericana (1998), *Bosques Energéticos. Una alternativa de solución para la falta de leña en los hogares*, Zamorano, Honduras [en línea] https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1615/1/Bosques%20Energ%C3%A9ticos20130902_08530678.pdf.
- Espinasa, R. y otros (2017), *Dossier Energético: Honduras*. Nota técnica N° IDB-TN1235, Banco Interamericano de Desarrollo [en línea] <https://publications.iadb.org/es/publicacion/dossier-energetico-honduras>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2019a), FAOSTAT [base de datos en línea] <http://www.fao.org/faostat/>.
- _____ (2019b), "Aquatic biofuels" [en línea] <http://www.fao.org/bioenergy/aquaticbiofuels/knowledge/fish-waste/en/>.
- _____ (2004), *Unified Bioenergy Terminology (UBET)* [en línea] <https://www.fao.org/3/j4504e/j4504e.pdf>.
- _____ (2001), *Análisis de las consecuencias a mediano plazo del huracán Mitch sobre la seguridad alimentaria en América Central* [en línea] <https://www.fao.org/publications/card/es/c/d8d7931a-d942-598b-9aac-d11523b0676d/>.
- _____ (2018), "Curso: De la Biomasa a la Energía Renovable: Dendroenergía en Argentina" [en línea] <https://www.fao.org/in-action/capacitacion-politicas-publicas/cursos/ver/es/c/356808/>.
- Flores Castro, W. C. (2014), *Mejorando el acceso a los mercados energéticos: Honduras. Informe final*, Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) [en línea] <http://biblioteca.olade.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=14105>.
- Flores, W. C. y otros (2010), "Sustainable energy policy in Honduras: diagnosis and challenges", *Energy Policy* [en línea] doi:10.1016/j.enpol.2010.10.020.
- Foley, G. (1985), "Woodfuel, deforestation and tree growing in the developing world", *Energy Policy*, vol. 13, N° 2 [en línea] [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(85\)90180-6](https://doi.org/10.1016/0301-4215(85)90180-6).
- García Bustamante, C. A. y O. Masera Cerutti (2016), *Estado del arte de la bioenergía en México*, Red Temática de Bioenergía (RTB) del CONACYT [en línea] <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2020/12/6d95688b94fb96e56675c3ff6387225f-2.pdf>.
- Ghilardi, A., G. Guerrero y O. Masera (2009), "A GIS-based methodology for highlighting fuelwood supply/demand imbalances at the local level: A case study for Central Mexico", *Biomass and Bioenergy*, vol. 33, N° 6-7, [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.02.005>.

- _____ (2007), “Spatial analysis of residential fuelwood supply and demand patterns in Mexico using the WISDOM approach”, *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, N° 7 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2007.02.003>.
- Ghilardi, A. y J. F. Mas (2011), “Spatial modeling of fuelwood extraction dynamics: a case study for Honduras”, *Memorias de la XIX Reunión Nacional de la Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota y Sistemas de Información Espaciales (SELPER)* [en línea] https://www.ciga.unam.mx/publicaciones/images/abook_file/MemoriasSelper2011.pdf.
- Goldemberg, J. y S. Teixeira Coelho (2004), “Renewable energy—traditional biomass vs. modern biomass”, *Energy Policy*, vol. 32, N° 6 [en línea] [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00340-3](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00340-3).
- Gutiérrez Rodríguez, E., R. D. Moreno Orjuela y N. Villota Echeverry (2013), *Guía de cubicación de madera*, Corporación Autónoma Regional de Risaralda (CARDER), Gobernanza Forestal y Unión Europea, N° 1 [en línea] <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2020-04/07.%20GUIA%20DE%20CUBICACION%20DE%20MADERA.pdf>.
- Hall, J. P. (2003), “Sustainable production of woody biomass for energy”, paper submitted to the XII World Forestry Congress, 2003, Québec City [en línea] https://www.fao.org/3/xii/0077-A1.htm#P10_167.
- Hanania, J. y otros (2020), “Biomass”, *Energy Education*, University of Calgary, Calgary [en línea] <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Biomass>.
- Hansfort, S. L. y O. Mertz (2011), “Challenging the woodfuel crisis in West African woodlands”, *Human Ecology*, vol. 39, N° 5 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s10745-011-9417-8>.
- Hart, C. A. y M. L. Rajora (2009), “Overcoming institutional barriers to biomass power in China and India”, *Sustainable Development Law and Policy*, vol. 9, N° 3 [en línea] <https://core.ac.uk/download/pdf/235406985.pdf>.
- Hoorweg, D. y P. Bhada-Tata (2012), *What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management*, The World Bank, Washington, D. C. [en línea] <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>.
- Hosier, R. H. (1993), “Charcoal production and environmental degradation: Environmental history, selective harvesting, and post-harvest management”, *Energy Policy*, vol. 21, N° 5 [en línea] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/030142159390037G>.
- ICF (Instituto de Conservación Forestal y Desarrollo Forestal, Áreas Protegidas y Vida Silvestre) (2018), *Anuario Estadístico Forestal de Honduras*, vol. 33, Tegucigalpa, M.D.C., Honduras [en línea] <http://sigmof.icf.gob.hn/downloads/Anuario-Forestal-2018.pdf>.
- _____ (2017), *Anuario Estadístico Forestal de Honduras 2016*, vol. 31, Tegucigalpa, M.D.C., Honduras [en línea] <https://sigmof.icf.gob.hn/downloads/Anuario-Forestal-2016.pdf>.
- _____ (2016), *Anuario Estadístico Forestal de Honduras 2015*, vol. 30, Tegucigalpa, M.D.C., Honduras, julio [en línea] <https://sigmof.icf.gob.hn/downloads/Anuario-Forestal-2015.pdf>.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) (2010), *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II. Biodiésel*, San José, Costa Rica [en línea] <https://agriperfiles.agri-d.net/display/n29521>.
- _____ (2007), *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: I. Etanol*, San José, Costa Rica [en línea] <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00014.pdf>.
- IEA (International Energy Agency) (2012), *Technology Roadmap Bioenergy for Heat and Power*, Paris [en línea] <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-bioenergy-for-heat-and-power>.
- INE (Instituto Nacional de Estadística) (2018), “Proyecciones de población 2014-2030” [base de datos en línea] <https://www.ine.gob.hn/V3/baseine/>.
- Jagger, P. y G. Shively (2014) “Land use change, fuel use and respiratory health in Uganda”, *Energy Policy*, vol. 67 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.068>.
- Kolb, M., J.F. Mas y L. Galicia (2013), “Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern Mexico”, *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 27, N° 9 [en línea] <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.770517>.
- Lagarda, G. y J. Linares, *Precios bajos de hidrocarburos: una cuantificación de los beneficios para Centroamérica, Panamá y la República Dominicana*, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Nota Técnica N° IDB-TN-1330 [en línea] <http://dx.doi.org/10.18235/0000869>.

- Larson, E. D., C. I. Marrison y R. H. Williams (1995), "CO₂ mitigation potential of biomass energy plantations in developing regions", Princeton University Center for Energy and Environmental Studies (PU/CEES), Working Paper N° 138 [en línea] https://acee.princeton.edu/wp-content/uploads/2016/10/Larson_95_Mitigation_Biomass_Plantations.pdf.
- López Mendiburu, A. y Ó. Lumbreras (2007), "Biomasa y cultivos energéticos", *Cuadernos de la Tierra*, Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos (UPA), Madrid [en línea] https://upa.es/_clt/lt_cuadernos_9/pag_032-035_mendiburu.pdf.
- Ludeña, C. E., M. Salomon, M. Cocco, C. Dannecker, J. Grütter y S. Zelaya (2015), *Identificación y priorización de acciones nacionales apropiadas de mitigación (NAMA) en los sectores de agricultura, transporte y eco-fogones en Honduras*, Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Monografía N° 343, Washington, D. C. [en línea] [https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Identificaci%C3%B3n-y-Priorizaci%C3%B3n-de-Acciones-Nacionales-Apropiadas-de-Mitigaci%C3%B3n-\(NAMA\)-en-los-Sectores-de-Agricultura-Transporte-y-Eco-fogones-en-Honduras.pdf](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Identificaci%C3%B3n-y-Priorizaci%C3%B3n-de-Acciones-Nacionales-Apropiadas-de-Mitigaci%C3%B3n-(NAMA)-en-los-Sectores-de-Agricultura-Transporte-y-Eco-fogones-en-Honduras.pdf).
- Masera, O., R. Bailis, R. Drigo, A. Ghilardi y I. Ruiz-Mercado (2015), "Environmental burden of traditional bioenergy use", *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 40 [en línea] <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-environ-102014-021318>.
- Mendes Souza, G. y otros (2018), "Sustainable bioenergy: Latin America and Africa. Policy Brief", *Scope Bioenergy & Sustainability*, Amstelveen [en línea] <http://bioenfapesp.org/scopebioenergy/index.php/policy-brief-sustainable-bioenergy-latin-america-and-africa-2018/>.
- Monteiro Brando, P. y otros (2014), "Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 111, N° 17 [en línea] <https://doi.org/10.1073/pnas.1305499111>.
- Moroni, M. T. y R. A. Musk (2014), "Domestic timber harvesting affects wood quantities in Tasmanian dry eucalypt forests", *Australian Forestry*, vol. 77, N° 2 [en línea] <https://doi.org/10.1080/00049158.2014.901884>.
- Murayama, Y. y R. B. Thapa (2011), *Spatial Analysis and Modeling in Geographical Transformation Process: GIS-based Applications*, Springer, New York.
- Naciones Unidas (2021), "United Nations Global SDG Database (SDG Indicators)" [base de datos en línea] <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/database/>.
- _____(2019), "UN DATA" [base de datos en línea] <http://data.un.org>.
- _____(2016), "UN DATA" [base de datos en línea] <http://data.un.org>.
- Naughton-Treves, L., D. M. Kammen y C. Chapman (2007), "Burning biodiversity: woody biomass use by commercial and subsistence groups in western Uganda's forests", *Biological Conservation*, vol. 134, N° 2 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.08.020>.
- Nepstad, D. y otros (2009), "The End of Deforestation in the Brazilian Amazon", *Science*, vol. 326, N° 5958 [en línea] <https://doi.org/10.1126/science.1182108>.
- OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) (2020), *Sistema de Información Energética de Latinoamérica y El Caribe (sieLAC)* [en línea] <http://www.olade.org/sistema-de-informacion-energetica-de-latinoamerica-y-el-caribe-sielac/>.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2016), *Burning opportunity: clean household energy for health, sustainable development, and wellbeing of women and children* [en línea] <https://apps.who.int/iris/handle/10665/204717>.
- Orozumbekov, A., E. Cantarello y A. C. Newton (2015), "Status, distribution and use of threatened tree species in the walnut-fruit forests of Kyrgyzstan", *Forest, Trees and Livelihoods*, vol. 24, N° 1 [en línea] <https://doi.org/10.1080/14728028.2014.928604>.
- Paegelow, M. y M. T. Camacho-Olmedo (2008), *Modelling Environmental Dynamics: Advances in Geomatic Solutions*, Springer, New York.
- Palomeque, L. C., M. A. Cárcamo y A. P. Galer (2016), "Bosques energéticos", INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), Chubut, Argentina [en línea] <https://inta.gob.ar/documentos/bosques-energeticos>.

- Pang, C., H. Yu, J. He y J. Xu (2013), “Deforestation and changes in landscape patterns from 1979 to 2006 in Suan County, DPR Korea”, *Forests*, vol. 4, N° 4 [en línea] <https://www.mdpi.com/1999-4907/4/4/968>.
- Pathirana, A., H. B. Deneke, W. Veerbeek, C. Zevenbergen y A. T. Banda (2013), “Impact of urban growth-driven land use change on microclimate and extreme precipitation - A sensitivity study”, *Atmospheric Research*, vol. 138 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.10.005>.
- Pérez-Vega, A., J. F. Mas y A. Ligmann-Zielinska (2012), “Comparing two approaches to land use/cover change modeling and their implications for the assessment of biodiversity loss in a deciduous tropical forest”, *Environmental Modelling & Software*, vol. 29, N° 1 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.09.011>.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2012), *Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo en Honduras* [en línea] <https://www.undp.org/content/dam/honduras/docs/publicaciones/EstudioBiogas.pdf?download>.
- Rainforest Alliance (2016), “¿Qué es la Silvicultura Sostenible?” [en línea] <https://www.rainforest-alliance.org/es/perspectivas/que-es-la-silvicultura-sostenible/>.
- REMBIO (Red Mexicana de Bioenergía, A. C.) (2011), “La bioenergía en México. Situación actual y perspectivas”, *Cuaderno temático*, N° 4 [en línea] <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT4.pdf>.
- REN21 (2019), *Renewables 2019 Global Status Report*, REN21 Secretariat, París [en línea] https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf.
- ____ (2017), *Renewables 2017 Global Status Report*, REN21 Secretariat, París [en línea] <https://www.ren21.net/gsr-2017/>.
- Residuos Profesional (2014), “Generan energía limpia a partir de residuos de la producción de café” [en línea] <https://www.residuosprofesional.com/generan-energia-limpia-partir-de-residuos-de-la-produccion-de-cafe/>.
- Ríos M. y M. Kaltschmitt (2013), “Bioenergy potential in Mexico - status and perspectives on a high spatial distribution”, *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 3 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s13399-013-0085-3>.
- Ruger, N., G. Williams-Linera, W. D. Kissling y A. Huth (2008), “Long-term impacts of fuelwood extraction on a tropical montane cloud forest”, *Ecosystems*, vol. 11, N° 6 [en línea] <https://www.jstor.org/stable/40296412>.
- Ryan, C. M., T. Hill, E. Woollen, C. Ghee, E. Mitchard, G. Cassells, J. Grace, I. H. Woodhouse y M. Williams (2011), “Quantifying small-scale deforestation and forest degradation in African woodlands using radar imagery”, *Global Change Biology*, vol. 18, N° 1 [en línea] <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02551>.
- Saura, F. (1981), “Biomasa y agroenergía”, *Maina*, N° 4 [en línea] http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/maina/index/assoc/Maina_19/81v4p012.dir/Maina_1981v4p012.pdf.
- Salonen, M. y otros (2012), “Critical distances: Comparing measures of spatial accessibility in the riverine landscapes of Peruvian Amazonia”, *Applied Geography*, vol. 32, N° 2 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.017>.
- SEN (Secretaría de Estado en el Despacho de Energía) (2019), *Balance Energético Nacional 2019*, Tegucigalpa, Honduras [en línea] <https://sen.hn/wp-content/uploads/2021/01/BEN-2019.pdf>.
- Shrestha, S. y otros (2013), “Assessment of carbon balance in community forests in Dolakha, Nepal”, *Small-scale Forestry*, vol. 12, N° 4 [en línea] <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11842-012-9226-y>.
- Singh, G., G. S. Rawat y D. Verma (2010), “Comparative study of fuelwood consumption by villagers and seasonal ‘Dhaba owners’ in the tourist affected regions of Garhwal Himalaya, India”, *Energy Policy*, vol. 38, N° 4 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.069>.
- Slade, R. y otros (2011), *Energy from biomass: the size of the global resource*, Imperial College Centre for Energy Policy and Technology and UK Energy Research Centre, London [en línea] <https://d2e1qxpsswcpgz.cloudfront.net/uploads/2020/03/energy-from-biomass-the-size-of-the-global-resource.pdf>.

- Soares-Filho, B. S. y otros (2012), "Forest fragmentation, climate change and understory fire regimes on the Amazonian landscapes of the Xingu headwaters", *Landscape Ecology*, vol. 27 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9723-6>.
- _____(2006), "Modelling conservation in the Amazon basin", *Nature*, N°440 [en línea] <https://doi.org/10.1038/nature04389>.
- Soares-Filho, B. S., H. O. Rodrigues y W. L. Costa (2010), *Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO*, 2ª. Edición [en línea] https://www.lapa.ufscar.br/geotecnologias-1/Dinamica_EGO_guidebook.pdf.
- Sonter, L. J., D. J. Barrett y B. S. Soares-Filho (2014), "Offsetting the Impacts of Mining to Achieve No Net Loss of Native Vegetation", *Conservation Biology*, vol. 28, N° 4 [en línea] <https://doi.org/10.1111/cobi.12260>.
- Sonter, L. J. y otros (2014), "Global demand for steel drives extensive land-use change in Brazil's Iron Quadrangle", *Global Environmental Change*, vol. 26 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.03.014>.
- Specht, M. J. y otros (2015), "Burning biodiversity: fuelwood harvesting causes forest degradation in human-dominated tropical landscapes", *Global Ecology and Conservation*, vol. 3 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.12.002>.
- The Gold Standard (2011), *Technologies and Practices to Displace Decentralized Thermal Energy Consumption. Gold Standard Methodologies*, The Gold Standard Foundation.
- Tienda Biomasa (2019), "¿Cómo medir la leña?" [en línea] <https://tiendabiomasa.com/medir-leña>.
- UCS (Union of Concerned Scientists) (2021), "What is sustainable agriculture?" [en línea] <https://www.ucsusa.org/resources/what-sustainable-agriculture>.
- _____(2013a), "Environmental impacts of renewable energy technologies" [en línea] <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-renewable-energy-technologies>.
- _____(2013b), "Environmental impacts of hydroelectric power", Union of Concerned Scientists (UCS), [en línea] <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-hydroelectric-power>.
- UNEP-WCMC (Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación) (2020), "World Database of Protected Areas" [base de datos en línea] <https://www.protectedplanet.net/c/unep-regions>.
- Unión Europea (2003), "Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2003 relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte", Diario Oficial de la Unión Europea, L 123/42 [en línea] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0030&from=EN>.
- Wangchuk, S., S. Siebert y J. Belsky (2014), "Fuelwood use and availability in Bhutan: implications for national policy and local forest Management", *Human Ecology*, vol. 42 [en línea] <https://doi.org/10.1007/s10745-013-9634-4>.
- Wu, Y. y otros (2018), "Bioenergy production and environmental impacts", *Geoscience Letters*, vol. 5, N° 14 [en línea] <https://doi.org/10.1186/s40562-018-0114-y>.
- Zamora, D. y C. Blinn (2019), "Wildfire prevention and forest health", *Wood-Energy* [en línea] <https://wood-energy.extension.org/wildfire-prevention-and-forest-health/>.
- Zapata, J. B. y M. A. Martínez (2008), "Comité Nacional de Bienes y Servicios Ambientales de Honduras (CONABISAH)" [en línea] http://cdb.chmhonduras.org/phocadownloadpap/CODDEFFAGOLF/Estudios/Honduras_Caso%20CONABISAH.pdf.

Anexos

Anexo 1

El uso de leña y carbón vegetal a pequeña escala

1. El uso tradicional de la leña y el carbón vegetal

A pesar de que la energía tradicional proveniente de la madera (leña y carbón vegetal) todavía se usa ampliamente en muchos países en desarrollo (IEA, 2012), el impacto de la cosecha de leña en bosques sigue siendo un punto de discusión. Identificada como la otra crisis energética en la década de 1970 (Eckholm, 1975), la extracción de leña y la producción de carbón por parte de las poblaciones rurales y periurbanas pobres, se consideró como el principal impulsor de la degradación ambiental. Algunos análisis todavía informan una conexión directa entre los combustibles de madera y la deforestación severa (Singh, Rawat y Verma, 2010; Pang y otros, 2013) o la degradación forestal (Ahrends y otros, 2010; Ryan y otros, 2011; Cantarello y otros, 2014; Moroni y Musk, 2014; Orozumbekov, Cantarello y Newton, 2015; Specht y otros, 2015). Sin embargo, algunos especialistas creen que la demanda de leña tiene un impacto limitado en la cubierta forestal (Hansfort y Mertz, 2011; Shrestha y otros, 2013) porque se ve ensombrecida por otros procesos socioeconómicos y ecológicos (Foley, 1985; Hosier, 1993; De Waroux y Lambin, 2012).

Las generalizaciones son intrínsecamente engañosas, ya que los patrones espaciotemporales de oferta y demanda de leña son específicos del sitio, los impactos en la vegetación varían mucho de un lugar a otro (Ghildardi, Guerrero y Maser, 2007; Wangchuk, Siebert y Belsky, 2014) y pueden ser el resultado de patrones específicos del uso de recursos, por ejemplo, leña de subsistencia o carbón comercial (Naughton-Treves, Kammen y Chapman, 2007). Además, la vegetación responde a las perturbaciones de maneras que pueden afectar a las prácticas de recolección, el cambio de preferencia de especies, los sitios de extracción y los volúmenes extraídos (Ruger y otros, 2008 y Jagger y Shively, 2014).

Dentro del ámbito de las políticas públicas, se necesitan evaluaciones más matizadas y precisas que den cuenta de los efectos espaciotemporales para predecir de mejor manera el impacto de las intervenciones, como los programas de estufas mejoradas y los hornos de carbón mejorados. En el pasado, los impactos positivos de la tecnología se han asumido como una cuestión de fe, en lugar de demostrarlo por medio del análisis científico. Por lo tanto, existe una necesidad apremiante de modelos que evalúen con firmeza los impactos de las intervenciones, así como de los flujos de carbono.

Las técnicas de modelado geoespacial son una opción prometedora para hacer explícita la variabilidad espaciotemporal (Deaton y Winebrake, 2000; Paegelow y Camacho-Olmedo, 2008; Murayama y Thapa, 2011). Las preguntas centrales que deben abordarse al respecto son:

- ¿Cuánto combustible de madera se recolecta (se consume) en un lugar determinado dentro de un marco de tiempo específico?
- ¿Cómo responde la vegetación a esta presión, medida por las existencias de biomasa aérea y las tasas de crecimiento?
- ¿Cómo los cambios en la demanda de combustible de madera (por ejemplo, mediante la disseminación de estufas que ahorran combustible) alteran los patrones de cosecha y crecimiento con el tiempo?

2. Análisis del impacto de la recolección de leña en la vegetación utilizando el software MoFuSS

En el caso de la leña de uso residencial, para responder a estas preguntas, se desarrolló el software MoFuSS (Modeling Fuelwood Savings Scenarios/Modelado de Escenarios de Ahorro de Leña)³², un modelo espacialmente explícito y dinámico que simula el efecto de la recolección de leña en la vegetación local. El objetivo general es cuantificar las reducciones esperadas en la recolección insostenible de biomasa leñosa resultante de intervenciones externas que reducen la demanda. MoFuSS fue diseñado para ser aplicado en áreas de estudio donde la leña es una importante fuente de energía para el sector residencial, en el que opera la recolección de madera para uso propio y mercados localizados, y no en lugares dedicados a la producción de carbón, donde los patrones de recolección y de comercialización difieren significativamente (Maser y otros, 2015).

MoFuSS proyecta los sitios de recolección de leña en el tiempo según el acceso a los recursos forestales. La vegetación responde a la recolección en cada iteración en función de la cantidad de madera extraída y las funciones de crecimiento de los árboles dentro y fuera de los bosques. Un módulo de simulaciones Montecarlo³³ del MoFuSS tiene en cuenta las incertidumbres inherentes asociadas con los parámetros de entrada. El modelo también da cuenta de las tendencias observadas y esperadas en la pérdida y ganancia forestal que no están relacionadas con la cosecha de leña. Esto tiene en cuenta que parte de la demanda de leña se satisface de los subproductos de otras actividades y permite ajustar el mapa de oferta de leña en el tiempo (véase el anexo 2 para conocer más a fondo el software MoFuSS).

3. Análisis prospectivo utilizando MoFuSS

En el gráfico A1 se muestran las trayectorias para biomasa leñosa aérea (AGB)³⁴, la biomasa no renovable (NRB)³⁵ (véase la ecuación 5 del anexo 2), la fracción de la biomasa no renovable (fNRB)³⁶ (véase la ecuación 6 del anexo 2) y el uso total de leña en Honduras³⁷. Las líneas rojas se generaron utilizando los parámetros medios definidos por el usuario, mientras que las líneas grises claras muestran cada realización de Montecarlo utilizando parámetros variables.

El uso de leña parece tener muy poco impacto en la AGB para toda el área. No obstante, la recolección de leña que ocurre en algunos lugares no es renovable, como lo muestran las trayectorias de la NRB. En el escenario de *business as usual* (BaU), la NRB aumenta con el tiempo en la mayoría de las realizaciones de la simulación de Montecarlo, impulsadas por el constante aumento del consumo de leña. Además, en ciertos lugares, el incremento anual de biomasa leñosa es menor que el volumen cosechado de leña.

Las trayectorias positivas de la NRB no significan necesariamente que las tierras boscosas dentro del paisaje estudiado se estén degradando hasta su agotamiento. Se observa también que los bosques muestran cierta resistencia porque los píxeles que experimentan una NRB positiva cambian con el paso del tiempo. Esto permite que muchos píxeles con una NRB positiva se recuperen, perdiendo efectivamente su estado NRB. Esto da como resultado

³² MoFuSS fue desarrollado por el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en colaboración con el Centro de los Estados Unidos del Stockholm Environment Institute (SEI) y la Global Alliance for Clean Cookstoves (GACC). El desarrollador principal es Adrián Ghilardi, del CIGA de la UNAM.

³³ El método de simulaciones de Monte Carlo consiste en correr repetidamente un mismo modelo bajo parámetros inciertos que varían dependiendo de la distribución de probabilidad. Se utiliza para modelar el impacto de la incertidumbre y conocer la probabilidad de diferentes tipos de resultados.

³⁴ La biomasa leñosa por encima del suelo, como ramas, corteza, semillas, follaje y tallos.

³⁵ La extracción de biomasa leñosa a tasas que exceden la tasa natural de revegetación en un período determinado.

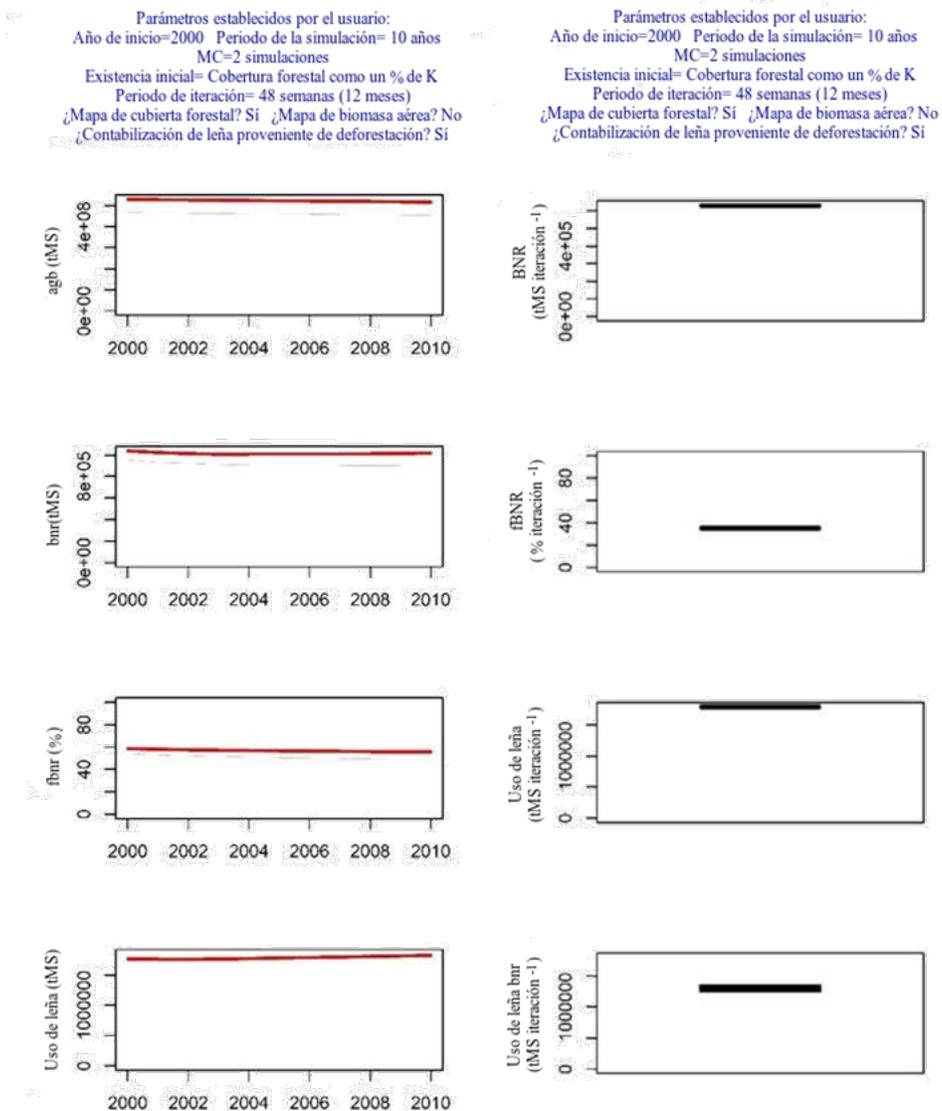
³⁶ El cociente de NRB con respecto a la utilización total de combustible de leña en un lugar determinado.

³⁷ El conjunto de datos de Honduras utilizado (datos de trama espacial en formato geotiff, datos vectoriales espaciales y tablas) tiene un tamaño aproximado de 550 MB.

menores pérdidas que si los sitios de recolección se fijaran permanentemente, lo que refleja estrechamente prácticas de recolección reales y muestra la importancia tanto de definir un marco de tiempo para un estudio de la NRB como el de evitar análisis estáticos o de instantes en el tiempo (véase, por ejemplo, Ghilardi y otros, 2009).

Gráfico A1.1

Honduras: comportamiento de la biomasa leñosa aérea (AGB), la biomasa no renovable (NRB), la fracción de la biomasa no renovable (fNRB) y uso total de leña, 2000-2010



Fuente: Elaboración propia.

Este patrón de pixeles, que cambian dentro y fuera del estado de la NRB durante la simulación, es sensible al número de eventos de recolección, que está directamente relacionado con la resolución temporal y espacial de la simulación. A continuación se explora la sensibilidad de los resultados al porcentaje de paisaje en que se lleva a cabo recolección en cada iteración o paso de tiempo.

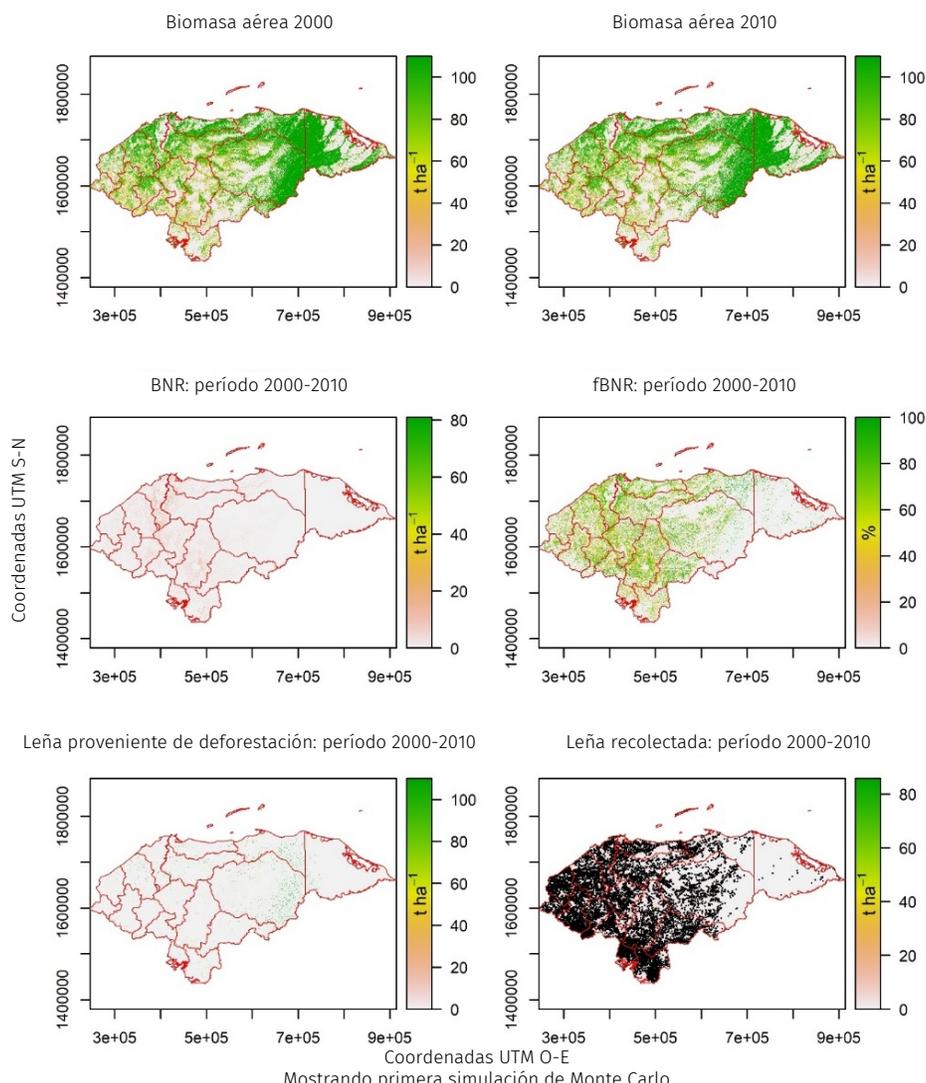
Además, debido a que la fNRB se define como la proporción de NRB y el consumo total de leña residencial en toneladas de materia seca ($C_{(t)}$) (véase la ecuación 3 del anexo 2), su

comportamiento a lo largo del tiempo es impulsado por ambos factores. Esto explica la trayectoria casi constante de la fNRB en el escenario BaU: tanto el consumo de la NRB como el de leña aumentan a un ritmo similar. Con la diseminación de estufas mejoradas, la fNRB disminuye constantemente durante la mayor parte de la simulación. Para resumir simulaciones completas, MoFuSS produce diagramas de caja que muestran distribuciones de la NRB, la fNRB, uso de leña y uso de leña solo en píxeles de la NRB, es decir, uso de leña que contribuye directamente a la deforestación o degradación.

Un enfoque alternativo sería priorizar la diseminación de estufas mejoradas en zonas con una mayor NRB. Pero, ¿cómo se puede saber la ubicación de las comunidades que más contribuyen a la NRB? En el mapa A1 se muestran las distribuciones espaciales de la AGB, la NRB, la fNRB, la leña procedente de la deforestación y el uso total de leña en los escenarios BaU para la primera realización de Montecarlo (línea roja en el gráfico A1). La distribución espacial de la NRB y la fNRB se muestra para el período de simulación completo.

Mapa A1.1

Honduras: comportamiento espacial de la biomasa leñosa aérea (AGB), la biomasa no renovable (NRB), la fracción de la biomasa no renovable (fNRB), la leña procedente de la deforestación y del uso total de leña en el escenario *business as usual* (BaU), 2000-2010



Fuente: Elaboración propia.

Estos mapas podrían ayudar a identificar las comunidades con mayor uso de leña, que se encuentran dentro o cerca de las áreas con una alta NRB. El proceso de selección de comunidades clave que contribuyen más a la NRB podría hacerse manualmente, o mediante un procedimiento de optimización que maximice una reducción de la NRB basado en el despliegue selectivo de estufas mejoradas en espacio y tiempo y que podría incorporar explícitamente logística o mercado.

Anexo 2

Modeling Fuelwood Savings Scenarios (MoFuSS)/ Modelado de escenarios de ahorro de leña

Introducción a MoFuSS

MoFuSS se creó en un entorno de modelado *freeware* denominado Dinamica EGO (EGO, por sus siglas en inglés, Environment for Geoprocessing Objects, esto es, Entorno para el geoprocésamiento de objetos), diseñado para construir modelos complejos para el análisis y la simulación de fenómenos espaciales y temporalmente dinámicos (Soares-Filho y otros, 2010). Mediante el uso del lenguaje de flujo de datos (arrastrando y conectando algoritmos por conducto de sus puertos), los modelos se construyen y se muestran como diagramas, que son relativamente fáciles de comprender y modificar por usuarios que no están familiarizados con los lenguajes y *scripts* computacionales.

El *software* se ha popularizado entre los usuarios que analizan una amplia gama de fenómenos dinámicos (por ejemplo, Soares y otros, 2006; Nepstad y otros, 2009; Soares y otros, 2010; Bowman y otros, 2012; Carlson y otros, 2012; Pérez-Vega y otros, 2012; Soares y otros 2012; Ferraz Young, 2013; Kolb y otros, 2013; Pathirana y otros, 2013; Monteiro Brando y otros, 2014; Sonter, Barrett y Soares-Filho 2014; Sonter y otros, 2014b). Además, los *scripts* DINAMICA EGO en MoFuSS activan varios procesos externos que se ejecutan en R (www.r-project.org), FFmpeg (www.ffmpeg.org) y LaTeX (miktex.org) que proyectan, remuestran, rasterizan y recortan datos de entrada, realizan análisis estadísticos, generan gráficos, mapas animados y un informe resumido final en pdf.

MoFuSS integra un conjunto de *scripts* que requiere algún *freeware* para ser instalado primero. El primer paso consiste en descargar el manual de usuario de MoFuSS en el siguiente enlace: <https://gitlab.com/MoFuSS/MoFuSS>. MoFuSS (versión 1.0) fue diseñado y codificado por Adrián Ghilardi entre septiembre de 2011 y abril de 2015 con contribuciones de cuatro coautores: Jean-François Mas, Robert Bailis, Rudi Drigo y Omar Masera. Un quinto coautor, Ernesto Vega, ayudó con problemas de código R durante la depuración.

MoFuSS y cualquier otro *software* necesario para su operación están disponibles libremente para su descarga y uso, y todos los *scripts* de MoFuSS se pueden abrir, editar y guardar con cualquier editor de código libre como Notepad++ o Sublime Text. Los *scripts* de MoFuSS fueron codificados en los formatos de Dinamica EGO (.egoml), R (.R), LaTeX (.tex) y Windows batch scripting (.bat). Los *scripts* de MoFuSS y los archivos asociados (por ejemplo, ffmpeg.exe, zip.exe y textos en formato .pdf) tienen un tamaño de aproximadamente 45 MB.

MoFuSS tiene tres funciones principales:

- i) Proyectar la presión ejercida por la cosecha de leña sobre las fuentes existentes de biomasa leñosa.
- ii) Estimar la respuesta esperada de la vegetación a la perturbación en términos de crecimiento de la AGB.
- iii) Estimar el efecto de las intervenciones que reducen el consumo de leña en el *stock* y crecimiento forestal existente.

MoFuSS simula la dinámica espaciotemporal en un paisaje sujeto a la extracción tradicional de leña. Describe los cambios en un patrón espacial desde el momento t hasta el tiempo $t + 1$, de modo que:

$$X_{(t+1)} = f(X_{(t)}, Y_{(t)}) \quad (1)$$

donde:

$X_{(t)}$ = patrón espacial en el tiempo, t

$Y_{(t)}$ = conjunto de elementos de datos que pueden representar la transición, como mapas, tablas, matrices, expresiones matemáticas/lógicas o constantes

MoFuSS consta de cuatro componentes o módulos:

- i) Un componente de fricción que crea mapas de impedancia.
- ii) Un algoritmo modificado de la distancia inversa ponderada que crea mapas de presión que representan la propensión de los eventos de cosecha de leña.
- iii) Un componente de oferta/demanda que proyecta la cantidad esperada de leña que se recolectará en cada marco de tiempo en cada pixel y la respuesta de la vegetación a esa perturbación.
- iv) Un módulo de pérdida y ganancia forestal que proyecta eventos de limpieza de tierras o eventos de ganancia forestal en cada paso de tiempo, con base en observaciones anteriores.

MoFuSS se ejecutó de 2000 a 2030 en dos escenarios:

- i) BaU, suponiendo valores promedio de uso de leña asociado con cocinas tradicionales.
- ii) Un escenario de proyecto, suponiendo una difusión gradual y espacialmente uniforme de ICS entre 2000 y 2030. En este escenario se asumió que se logró una disminución anual del 5% en el uso de leña mediante un proyecto de intervención exitoso.

1. Módulo de oferta (pequeña escala)

Hay tres fuentes principales de leña residencial:

- i) Bosques y selvas: la leña se suministra podando o cortando árboles vivos o recogiendo ramas caídas y madera muerta.
- ii) Árboles fuera de los bosques: incluye árboles en tierras de cultivo, compuestos domésticos y áreas comunes a los lados de las carreteras, a los que se accede podando árboles vivos o recolectando ramas muertas/derribadas. Esta categoría también incluye los árboles de sombra en las plantaciones de café, que se podan regularmente y constituyen una importante fuente de madera en las zonas cafeteras.
- iii) Actividades de limpieza de tierras: incluye la tala de bosques o matorrales para nuevos cultivos o pastoreo y constituye una importante fuente de suministro de madera.

Se supone que el crecimiento de la biomasa leñosa depende de tres factores (Bailis y otros, 2015):

- i) el *stock* restante después de la iteración previa;
- ii) la tasa máxima de crecimiento (r_{\max} : la primera derivada de una curva logística tipo S), y
- iii) la densidad máxima de biomasa o capacidad de carga (K).

Tanto r_{max} como K dependen de parámetros biofísicos como la cobertura de la tierra, el suelo, la hidrología, la insolación y la altitud, entre otros. Sin embargo, los datos para múltiples parámetros de crecimiento biofísico raramente están disponibles. Para efectos de este estudio se definen K y r_{max} basándose únicamente en la clase de uso de suelo y cobertura terrestre. La ecuación 2 describe esta relación:

$$AGB_{(t+1)i} = AGB_{(t)i} + AGB_{(t)i} \cdot r_{max} \cdot \left(1 - \frac{AGB_{(t)i}}{K_i}\right) \quad (2)$$

donde:

$AGB_{(t)i}$ y $AGB_{(t+1)i}$ = biomasa leñosa aérea adecuada para usarse como combustible de leña en la clase de uso de suelo y cobertura terrestre i en el período de t y $t+1$, respectivamente;

r_{max} = tasa máxima de crecimiento;

K_i = densidad máxima de carga (capacidad de carga);

$AGB_{(t)i} * r_{max} * (1 - AGB_{(t)i}/K_i)$ = incremento anual de biomasa leñosa.

El *stock* de biomasa inicial, $AGB_{(t=0)}$, determinará el comportamiento futuro de la AGB durante el período de simulación. MoFuSS acepta mapas de cambio de uso de suelo y cobertura terrestre con tantas clases como estén disponibles, pero también se requieren parámetros de *stock* y crecimiento para cada clase. Los mapas que muestran una distribución espacial continua de la $AGB_{(t=0)}$ (por ejemplo, Cartus y otros, 2014) son igualmente válidos (incluso deseables) porque la ecuación 2 se calcula pixel por pixel.

Además, si la AGB cae por debajo de un umbral ajustable, los pixeles se vuelven no controlables hasta que el crecimiento natural los eleva por encima del umbral. En este conjunto de simulaciones, el umbral se estableció en 5,0 tMSha-1 para personas que usan vehículos y 0,1 tMSha-1 para personas que recolectan a pie. Es importante señalar que estos valores son cálculos aproximados sin literatura o respaldo de datos de campo. Pero dado que solo se aplican a bosques, se espera que la gente recurra a áreas vecinas donde la AGB está por encima de estos valores.

MoFuSS incluye una simulación de Montecarlo para adaptarse a la incertidumbre inherente de los patrones de crecimiento de la biomasa leñosa y la acumulación de existencias de la AGB. Con cada iteración de Montecarlo, todos los parámetros de crecimiento de biomasa leñosa varían aleatoriamente, siguiendo las funciones de densidad de probabilidad normal truncada. El número predeterminado de ejecuciones se estableció en 100. Otros parámetros que pasan por el módulo de simulación de Montecarlo, pero que no están relacionados con el crecimiento de biomasa, son la parte del paisaje visitada al menos una vez para la recolección de leña en cada iteración y un factor de transición que regula el grado de estocasticidad del mecanismo de recolección.

La sensibilidad de los resultados a algunos parámetros de entrada fue probada ejecutando seis simulaciones de 100 realizaciones de Montecarlo cada una, mientras que permite que un parámetro por simulación varíe aleatoriamente y mantenga los otros constantes. Los parámetros analizados fueron porcentaje del paisaje en que se recolectó biomasa leñosa por iteración, factor de transición, biomasa máxima alcanzable (K), tasa de crecimiento r_{max} y combustible de leña disponible de árboles fuera de los bosques.

2. Módulo de demanda (pequeña escala)

La magnitud y distribución espacial de la demanda de leña se calcula siguiendo la ecuación 3:

$$C_{(t)} = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n hh_{ij} \cdot u_j \cdot fc_i\right)_{(t)} + \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n hh_{ij} \cdot u_j \cdot fb_i\right)_{(t)} \quad (3)$$

donde:

$C_{(t)}$ = consumo total de leña residencial en toneladas de materia seca (tMS) en el período t ;

hh_{ij} = número de hogares que usan leña, por comunidad i que usa un dispositivo de cocción j (una estufa tradicional o incluso mejorada, pero considerada en el escenario BaU);

u_j = consumo de los hogares en tMS;

fc_i = fracción promedio de leña que se recolecta; y

fb_i = fracción promedio de leña que se compra.

La distribución espacial de los sitios de recolección de leña está determinada en parte por su proximidad a los centros de demanda. Los mapas de fricción o impedancia son un medio de procesamiento geográfico para dar cuenta de la proximidad de una manera realista (Salonen y otros, 2012). En estos mapas cada pixel se puede caracterizar por el tiempo que un recolector de leña necesita para viajar a pie o en vehículo (según las vías utilizadas en una localidad determinada). Los datos requeridos para construir mapas de fricción son las velocidades de desplazamiento de los recolectores de leña y las características topográficas (pendientes, condiciones del camino, ríos y cuerpos de agua) o tipos de cobertura terrestre (por ejemplo, la vegetación densa o espinosa reduce las velocidades de desplazamiento).

Un componente de la distancia inversa ponderada crea un mapa de presión (es decir, representa la probabilidad o propensión para cosechar leña en cada pixel) para dos tipos de recolectores de leña:

- i) Personas que viajan a pie y recolectan leña para uso doméstico, y
- ii) vendedores comerciales de madera que usan vehículos, lo que les permite acceder a áreas distantes y transportar grandes volúmenes de madera.

La ecuación 4 define cómo se calculan los mapas de presión:

$$P_{(t)k} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{c_{ik}}{d_{ik}^n} \right)_{(t)} \quad (4)$$

donde:

$P_{(t)k}$ = índice que indica la presión de ambos tipos de recolectores de leña k para el período t ;

C = consumo residencial de leña en tMS por localidad, aldea o ciudad i ;

d = tiempo acumulado (costo-distancia) necesario para llegar a cualquier pixel de cada localidad o aldea; n = número real positivo que modula la función de disminución de la interpolación.

El índice resultante es una interpolación de distancia ponderada modificada, en la que la distancia (en unidades lineales) se reemplaza por el costo acumulado (en unidades de tiempo). El poder de esta simple ecuación reside en el hecho de que cada pixel dentro del área de análisis está influenciado por todos los centros de consumo. Esto evita la necesidad de determinar las áreas accesibles para leña o los denominados cobertizos para leña (Ghilardi y otros, 2009) o áreas alcanzables (The Gold Standard, 2011), que no tienen en cuenta los centros de demanda superpuestos y son difíciles de definir.

El hecho de que las personas tienen más probabilidades de recolectar leña cerca de su lugar de residencia se integra en el modelo en forma de costos de viaje. Si se conocen algunas frecuencias y ubicaciones de recolección (a partir de mediciones con GPS terrestres, por ejemplo), la función de disminución se puede calibrar para reflejar los patrones de recolección observados. Este cálculo ha sido informado previamente por varios autores (Ghilardi y Mas, 2011; Chen y otros, 2014; Bailis y otros, 2015). Los mapas de presión se cargan en un módulo gobernado por un mecanismo estocástico. Finalmente, el consumo total de leña recolectada y comprada en el área de estudio se distribuye sobre los mapas resultantes del mecanismo de evaluación estocástico.

3. Módulo de oferta vs. demanda: Simulación dinámica de eventos de cosecha y revegetación del paisaje por crecimiento natural

La biomasa no renovable (NRB) es la cantidad de madera recolectada que excede el crecimiento natural durante un período de tiempo determinado, más comúnmente un año. Cuando la NRB se da como una fracción del uso total de leña, en su lugar se usa f_{NRB} (fracción de biomasa no renovable). Esto describe la proporción de la cosecha de leña que es insostenible. En el modelo, cada paso de tiempo es una iteración (un año en este caso de estudio) y n pasos constituyen una simulación. MoFuSS se ejecuta durante cualquier período de simulación especificado por el número de iteraciones de Montecarlo que se establecen, produciendo tres parámetros de salida principales:

- i) el *stock* de AGB restante (crecimiento menos cosecha en el período $t = n$),
- ii) la NRB calculada en píxeles, donde han ocurrido disminuciones en la AGB (véase la ecuación 5), y
- iii) la f_{NRB} , calculada como la fracción del consumo total de leña que no es renovable (véase la ecuación 6).

Estos parámetros de salida básicos se modelan como:

- salida 1: dentro de cada iteración (imitando un análisis de oferta-demanda estático);
- salida 2: dentro de cada período de simulación; y
- salida 3: para todo el conjunto de realizaciones de Montecarlo para NRB y f_{NRB} .

Para cada pixel:

$$NRB_{(t=n)} = \begin{cases} AGB_{(t=0)} - AGB_{(t=n)} & \text{si } AGB_{(t=0)} > AGB_{(t=n)} \\ 0 & \text{si } AGB_{(t=0)} \leq AGB_{(t=n)} \end{cases} \quad (5)$$

donde:

NRB ($t = n$) es la cantidad de leña en tMS que, cuando se cosecha, da como resultado una disminución neta en AGB entre el tiempo $t = 0$ y $t = n$.

En esta evaluación n puede consistir en una o varias iteraciones de un solo paso: una iteración corresponde al análisis estático de oferta-demanda (salida 1); $n = 30$ corresponde a la simulación completa (salida 2).

Cada iteración de Montecarlo genera un valor diferente de la $NRB_{(t=n)}$ repitiendo la ecuación 5 en cada ejecución (salida 3). La $NRB_{(t=n)}$ se calcula a nivel de pixel, lo que significa que no tiene en cuenta ningún incremento de la AGB que se produzca en áreas donde $AGB_{(t=n)} \geq AGB_{(t=0)}$. En otras palabras, la $NRB_{(t=n)}$ no es la disminución neta de la AGB en toda el área accesible para leña. En cambio, da cuenta de las pérdidas de la AGB solo en el conjunto de pixeles donde se produjo una pérdida.

Finalmente, la fracción de la NRB con respecto a la madera cosechada se calcula como:

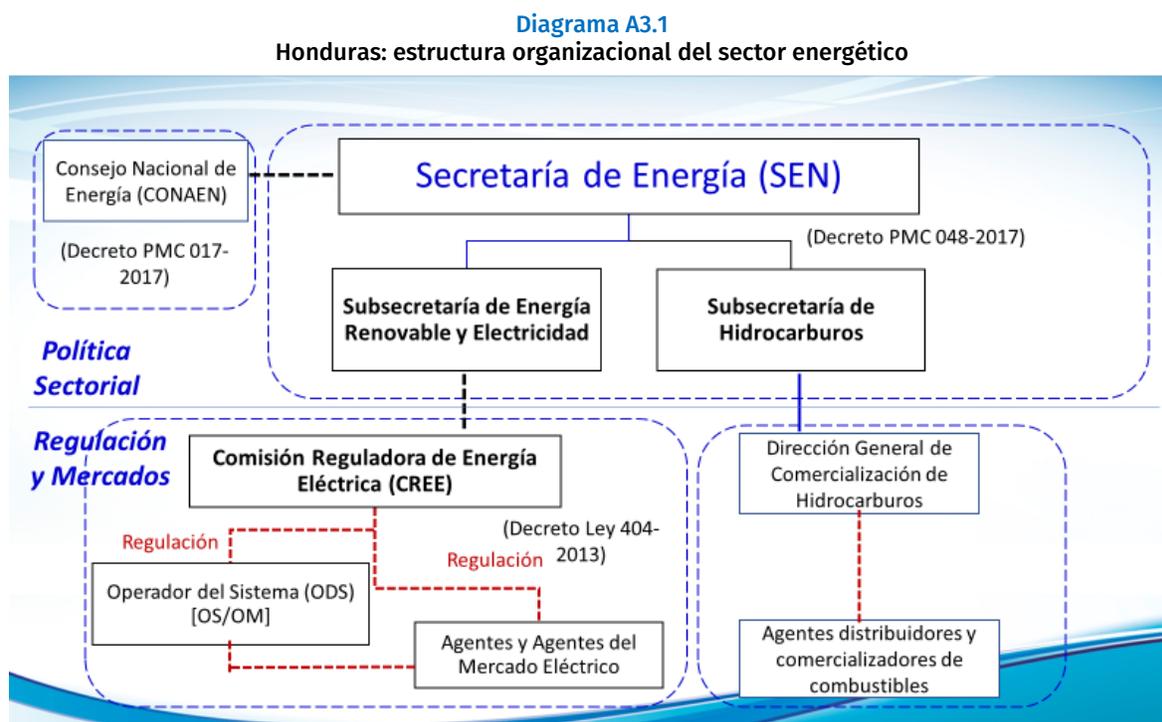
$$fNRB_{(t=n)} = \frac{NRB_{(t=n)}}{C_{(t=n)}} \quad (6)$$

Como se mencionó anteriormente, MoFuSS se ejecuta durante muchas iteraciones de paso de tiempo por simulación. $C_{(t)}$ puede expresarse como $C_{(n)}$, que corresponde al consumo de leña sumado entre el tiempo 0 y el tiempo n (véase la ecuación 6). Como $C_{(t)}$ se carga en cada iteración de un solo paso, los cambios temporales (y espaciales) en el uso de leña que pueden ser inducidos por una difusión gradual y espacialmente desigual de estufas mejoradas pueden simularse en MoFuSS. Sin embargo, si falta información espaciotemporal sobre el despliegue pasado y esperado de estufas mejoradas, MoFuSS puede simular la difusión hipotética de estufas mejoradas que se distribuye uniformemente en el espacio, es decir, proporcional a las tendencias de uso de leña en el escenario de BaU.

Anexo 3

Estructura del sector energético en Honduras³⁸

A partir del 7 de agosto de 2017, mediante el Decreto PCM-048-2017, se creó la Secretaría de Energía (SEN). Se eliminó, pues, la Dirección General de Energía (DGE) de la ahora Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente+). La SEN cuenta con dos subsecretarías: la Subsecretaría de Energía Renovable y Electricidad y la Subsecretaría de Hidrocarburos. La SEN es el ente rector del sector energético nacional y de la integración energética regional e internacional y tiene entre sus funciones la formulación, planificación, coordinación, ejecución, seguimiento y evaluación de las estrategias y políticas del sector energético hondureño. En el diagrama A3.1 se presenta la estructura organizacional del sector energético de Honduras.



Fuente: Secretaría de Energía (SEN) de Honduras.

En 1994 se aprobó la Ley Marco del Subsector Eléctrico que regulaba la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica y que permitió la participación de las empresas privadas en el mercado eléctrico nacional, pues hasta entonces la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) había sido la única encargada del servicio de energía eléctrica. La misma ley dio cuenta de la creación de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), ente regulador del subsector eléctrico hondureño. La Ley de Incentivos a la Generación Eléctrica con Energía Renovable (Decreto Núm. 70-2007) impulsó un fuerte crecimiento en la generación eléctrica con bagazo de caña, energía eólica e hidroelectricidad, mientras que el Decreto 138-2013 impulsó la instalación de centrales fotovoltaicas. La Ley General de la Industria Eléctrica (Decreto 404-2013), por la que se derogó la Ley Marco del Subsector Eléctrico, permitió una mayor participación de la iniciativa privada en el subsector eléctrico.

³⁸ Este anexo se elaboró tomando como base el capítulo sobre el sector energético en Honduras (CEPAL y otros, 2018, págs. 17-25).

Desde 1983, año en que fue creada la Comisión Administradora del Petróleo (CAP), esta había sido el ente público a cargo de la fijación de precios de los derivados del petróleo. Además, hasta 2017 la CAP había tenido a su cargo la comercialización de los derivados del petróleo, mientras que la exploración de Hidrocarburos era responsabilidad de la Dirección General de Energía (DGE) de la Secretaría de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas (SERNA), y el carbón mineral del Instituto de Minas. Estas funciones pasan a ser parte de las actividades de la Subsecretaría de Hidrocarburos de la SEN a partir de 2018. En 2013 se estableció la Ley para la Producción y Consumo de Biocombustible (Decreto Núm. 295-2013) a fin de establecer un marco jurídico para la producción de materia prima, fabricación, distribución, comercialización y uso de biocombustibles en Honduras.

En este documento se presenta el cálculo del potencial técnico de la energía que se puede obtener en Honduras a través de ciertos tipos de biomasa. Los potenciales fueron estimados utilizando la plataforma geoespacial para la evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) (www.wegp.unam.mx/sicabioenergy), una iniciativa de la CEPAL llevada a cabo en colaboración con el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Los potenciales obtenidos mediante información geoespacial para ciertos tipos de bioenergía constituyen una referencia para la toma de decisiones informada sobre el uso de ciertos recursos biomásicos como fuente de energía en Honduras, con el fin de contribuir a aumentar la participación de los recursos renovables en la matriz energética del país, en línea con el ODS 7 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

