



# Evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos en Costa Rica

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



NACIONES UNIDAS

CEPAL

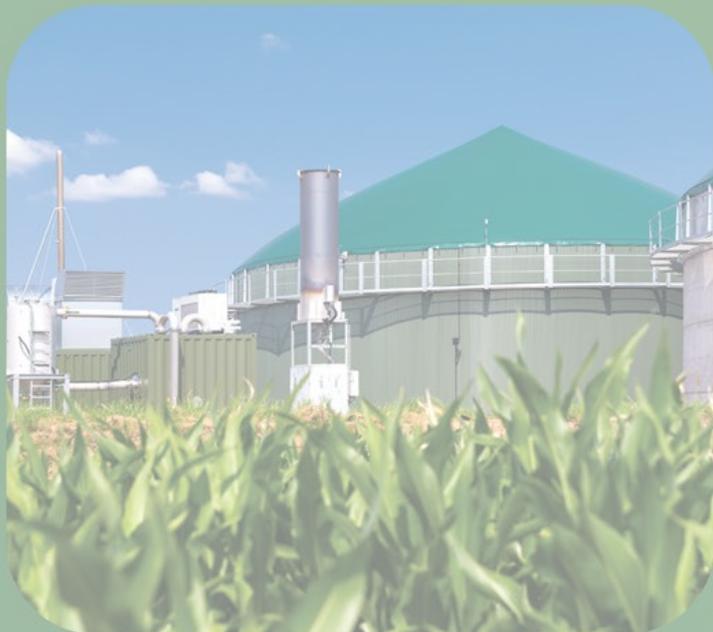
# Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



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](http://www.cepal.org/es/publications)

 [www.cepal.org/apps](http://www.cepal.org/apps)



# Evaluación del potencial energético de los recursos biomásicos en Costa Rica

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



NACIONES UNIDAS

CEPAL

Este documento fue elaborado por Raúl J. Tauro, José Luis Caballero, Miguel Ángel Salinas, Óscar Antonio Álvarez 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 (UERN) de la sede subregional de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) en México.

Se agradece a Manuel Eugenio Rojas y Eugenio Torijano, Funcionarios de la UERN, por proveer gráficos y estadísticas del sector energético de Costa Rica, 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 Costa Rica que facilitaron la información que fue utilizada en este documento, incluyendo la Secretaría de Planificación del Subsector Energía (SEPSE) del Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE).

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.2022/17

Distribución: L

Copyright © Naciones Unidas, 2022

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 Costa Rica* (LC/MEX/TS.2022/17), Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.

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        |
| <b>Capítulo I</b>   |           |
| <b>Marco conceptual.....</b>  | <b>21</b> |
| A. ¿Qué es la biomasa? .....  | 21        |
| B. La biomasa sólida como recurso energético .....  | 23        |
| C. Biomasa tradicional frente a biomasa moderna .....                                     | 24        |
| <b>Capítulo II</b>  |           |
| <b>Análisis del perfil de país para el aprovechamiento energético de la biomasa .....</b> | <b>25</b> |
| A. Energía .....  | 25        |
| 1. Subsector eléctrico.....   | 26        |
| 2. Sector hidrocarburos.....  | 28        |
| 3. Consumo de leña en los hogares (biomasa tradicional).....                              | 29        |
| B. Uso de suelo y producción agropecuaria y silvícola.....                                | 32        |
| 1. Uso de suelo.....  | 32        |
| 2. Producción agropecuaria.....   | 32        |
| 3. Producción silvícola .....   | 35        |
| C. Población, población ocupada y pobreza.....  | 37        |
| <b>Capítulo III</b>   |           |
| <b>Metodología.....</b>   | <b>41</b> |
| A. Definición del potencial energético de los recursos biomásicos.....                    | 41        |
| B. Recursos biomásicos considerados para la evaluación del potencial energético.....      | 42        |
| C. Metodología de la selección de la base espacial.....                                   | 42        |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| D.  | Metodología para la determinación de la oferta de recursos biomásicos .....                                     | 43        |
| 1.  | Metodología para la determinación de la oferta de subproductos del aprovechamiento y la industria forestal..... | 43        |
| 2.  | Metodología para la determinación de la oferta de plantaciones forestales dedicadas.....                        | 44        |
| 3.  | Metodología para la determinación de la oferta proveniente del aprovechamiento de bosques nativos .....         | 44        |
| 4.  | Metodología para la determinación de la oferta proveniente de cultivos dedicados.....                           | 45        |
| E.  | Metodología para la determinación de la demanda de mediana y alta potencia.....                                 | 45        |
| <b>Capítulo IV</b>  |   |           |
| <b>Resultados de las estimaciones de la oferta potencial de biomasa .....</b>               |   | <b>49</b> |
| A.  | Biomasa forestal.....   | 49        |
| 1.  | Subproductos del aprovechamiento y de la industria forestal.....  | 50        |
| 2.  | Plantaciones forestales dedicadas.....  | 51        |
| 3.  | Aprovechamiento de bosques nativos .....  | 52        |
| B.  | Biomasa de residuos agropecuarios .....   | 54        |
| C.  | Cultivos dedicados.....   | 54        |
| 1.  | Fuente.....   | 54        |
| <b>Capítulo V</b>   |   |           |
| <b>Oferta potencial de biomasa y análisis de la producción actual de electricidad .....</b> |   | <b>57</b> |
| A.  | Oferta potencial de biomasa.....  | 57        |
| B.  | Análisis de la producción actual de electricidad a partir de biomasa.....                                       | 58        |
| <b>Capítulo VI</b>  |   |           |
| <b>Conclusiones y reflexiones finales .....</b>   |   | <b>59</b> |
| A.  | Biomasa forestal.....   | 59        |
| 1.  | Residuos forestales, de la industria forestal y aprovechamiento de plantaciones forestales.....                 | 59        |
| 2.  | Aprovechamiento de bosques nativos .....  | 60        |
| B.  | Biomasa agropecuaria .....  | 61        |
| C.  | Otros residuos biomásicos sólidos .....   | 62        |
| D.  | Reflexiones finales.....  | 62        |
| <b>Bibliografía .....</b>   |   | <b>65</b> |
| <b>Cuadros</b>  |   |           |
| Cuadro I.1  | Ejemplos de biomasa sólida.....   | 22        |
| Cuadro II.1   | Costa Rica: principal fuente de energía para cocinar del total de los hogares, 2010, 2015 y 2021.....           | 30        |
| Cuadro II.2   | Costa Rica: principal fuente de energía para cocinar de los hogares urbanos, 2010, 2015 y 2021.....             | 31        |
| Cuadro II.3   | Costa Rica: principal fuente de energía para cocinar de los hogares rurales, 2010, 2015 y 2021 .....            | 31        |
| Cuadro II.4   | Costa Rica: uso de suelo, 1990-2019 .....   | 32        |
| Cuadro II.5   | Costa Rica: volumen de producción silvícola, 2000-2019 .....  | 36        |
| Cuadro II.6   | Costa Rica: población total según sexo, 1990-2030 .....   | 37        |
| Cuadro II.7   | Costa Rica: estructura poblacional por grupos de edad, 1990-2030.....   | 37        |
| Cuadro II.8   | Costa Rica: distribución porcentual de la población en áreas urbana y rural, 1990-2030 .....                    | 38        |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Cuadro II.9  | Costa Rica: estructura de la población ocupada por sector de actividad económica, 2001-2020 .....           | 38 |
| Cuadro II.10 | Costa Rica: población en situación de pobreza extrema y pobreza según área geográfica, 2001-2020.....       | 39 |
| Cuadro III.1 | Coefficientes para la conversión energética de diferentes recursos biomásicos.....                          | 46 |
| Cuadro IV.1  | Costa Rica: potencial energético de subproductos de la extracción forestal y la industria maderera.....     | 50 |
| Cuadro IV.2  | Costa Rica: potencial de producción de madera para energía a partir de plantaciones forestales.....         | 52 |
| Cuadro IV.3  | Costa Rica: potencial técnico de biomasa proveniente de bosques naturales.....                              | 53 |
| Cuadro IV.4  | Costa Rica: potencial teórico y técnico para la producción de etanol y biodiésel.....                       | 56 |
| Cuadro V.1   | Costa Rica: potencial técnico de recursos biomásicos para uso energético considerados en este estudio ..... | 58 |
| Cuadro V.2   | Costa Rica: uso energético de la biomasa por actividad, 2018 .....  | 58 |
| Cuadro VI.1  | Costa Rica: potencial energético de recursos biomásicos y equivalencias .....                               | 62 |

## Gráficos

|              |  |    |
|--------------|--|----|
| Gráfico II.1 | Costa Rica: consumo final de energía, 1990-2020.....   | 26 |
| Gráfico II.2 | Costa Rica: capacidad de generación de electricidad, 2000-2020 .....   | 27 |
| Gráfico II.3 | Costa Rica: generación de electricidad, 2000-2020 .....  | 27 |
| Gráfico II.4 | Costa Rica: consumo de derivados del petróleo, 1990-2020.....  | 28 |
| Gráfico II.5 | Costa Rica: consumo de leña de los hogares, 1990-2020 .....  | 29 |
| Gráfico II.6 | Costa Rica: producción de los principales cultivos agrícolas, 1990-2019 .....  | 33 |
| Gráfico II.7 | Costa Rica: cultivos con mayor superficie cosechada, 1990-2019 .....   | 34 |
| Gráfico II.8 | Costa Rica: existencias de ganado, 1990-2019 .....   | 35 |
| Gráfico VI.1 | Costa Rica: volumen autorizado (en m <sup>3</sup> ) y número de permisos para aprovechamiento forestal, 2011-2020..... | 60 |

## Recuadros

|               |   |    |
|---------------|---|----|
| Recuadro 1    | Gestión sustentable de los recursos biomásicos y externalidades positivas.....                        | 16 |
| Recuadro II.1 | Costa Rica: uso de leña para cocinar en fogones tradicionales y efectos negativos en las mujeres..... | 30 |

## Mapas

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Mapa IV.1 | Costa Rica: áreas con potencial para plantaciones de <i>Gmelina arborea</i> con fines energéticos.....                            | 51 |
| Mapa IV.2 | Costa Rica: distribución espacial de la accesibilidad de la biomasa aprovechable para energía proveniente de bosques nativos..... | 53 |
| Mapa IV.3 | Costa Rica: área potencial para el cultivo de caña de azúcar.....   | 55 |
| Mapa IV.4 | Costa Rica: área potencial para el cultivo de palma de aceite.....  | 55 |



## Resumen

En este documento se presenta el cálculo del potencial técnico de la energía que se puede obtener en Costa Rica 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) (véase [en línea] <https://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 Costa Rica. 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 Costa Rica through certain types of biomasses. 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) (see [online] <https://www.wegp.unam.mx/sicabioenergy>), an Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC) initiative carried out in collaboration with the Research Centre on Environmental Geography (CIGA) of the National Autonomous University of Mexico (UNAM). The document also analyses 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 an immense 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 Costa Rica. Finally, the opportunities and challenges involved in the use of the analysed resources and other types of biomasses 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.

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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 para el Desarrollo Sostenible. 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 Costa Rica, un país con casi el 100% de generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energía, pero que continúa apostando a la diversificación de las fuentes de energía como parte de las estrategias para lograr el objetivo de la carbono-neutralidad. La biomasa como fuente de energía es una de las alternativas contempladas y diferentes iniciativas y estudios constatan el interés que tiene Costa Rica en lo que respecta al uso energético de la biomasa (véanse, por ejemplo, MINAE, 2017; Chacón y otros, 2018, y Ulloa y otros, 2018).

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 Costa Rica 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).

### Recuadro 1

#### Gestión sustentable de los recursos biomásicos y externalidades positivas

La gestión y uso sustentable de los recursos biomásicos requiere utilizar tecnologías limpias y eficientes que permitan mitigar los gases contaminantes generados en la conversión de la biomasa a energía, además de racionalizar el uso del recurso, en contraste con las tecnologías ineficientes que generan impactos negativos en el ambiente y 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"> <li>- Reducción de las emisiones de GEI (Blinn y otros, 2019).</li> <li>- La remoción de residuos forestales puede reducir el riesgo de incendios forestales (Zamora y Blinn, 2019).</li> <li>- La eliminación de desechos en descomposición contribuye a disminuir las emisiones de metano (Cleaves, 2021).</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 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).</li> <li>- 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).</li> </ul> |
| Biomasa y coberturas leñosas de bosques nativos                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de CO<sub>2</sub> al usarse como sustituto de combustibles fósiles (Hall, 2003).</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso energético como complemento de los usos y destinos de la explotación forestal maderable.</li> </ul>   |
| Residuos de la industria forestal                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de las emisiones de GEI (Blinn y otros, 2019).</li> <li>- Los residuos madereros disminuyen la necesidad de utilizar otros recursos forestales al utilizar materiales que podrían ser simplemente desechados.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beneficios económicos por el aprovechamiento energético de un recurso que hubiera sido simplemente desechado.</li> <li>- Una logística de aprovechamiento simple al encontrarse los residuos <i>in situ</i>.</li> </ul>   |
| Plantaciones forestales   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene potencial de mitigación de CO<sub>2</sub> (Larson y otros, 1995 y Di Vita y otros, 2017).</li> <li>- Reforestación de tierras degradadas (Larson y otros, 1995).</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Creación de empleos en áreas rurales (Larson y otros, 1995).</li> </ul>   |
| Cultivos energéticos  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene potencial de mitigación de CO<sub>2</sub> (Larson y otros, 1995 y Di Vita y otros, 2017).</li> <li>- Posibilidad de utilizar tierras degradadas para reducir la competencia por tierras para producir alimentos y con fines energéticos (Larson y otros, 1995).</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Creación de empleos en áreas rurales (Larson y otros, 1995).</li> </ul>   |
| Residuos agrícolas  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminuyen la necesidad de utilizar más tierras al aprovecharse los desechos o subproductos de los cultivos.</li> <li>- Se evita la quema en campo antes o después de la cosecha.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beneficios económicos por el aprovechamiento energético de un recurso que hubiera sido simplemente desechado.</li> <li>- En algunos casos, si el recurso no tiene demanda como energético puede ser usado para otros fines no energéticos (CINAM, 2017).</li> </ul>   |
| Residuos pecuarios, otros desechos orgánicos y residuos sólidos urbanos | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Posibilidad de reducir las emisiones de metano (EESI, 2017).</li> <li>- 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).</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de riesgos de salud pública por los patógenos presentes en los desechos orgánicos y disminución de malos olores (EESI, 2017).</li> <li>- El digestato, residuo de la biodigestión, puede ser utilizado como fertilizante, lecho de ganado y enmiendas para suelos (EESI, 2017).</li> </ul>  |
| Bioenergía gestionada de manera sustentable                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de emisiones de GEI si son utilizados como sustitutos de los combustibles fósiles.</li> <li>- Generación de energía descentralizada.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reducción de la dependencia de combustibles fósiles.</li> <li>- Creación de empleos relacionados con la recolección, producción, procesamiento, transporte y distribución de recursos biomásicos con fines energéticos.</li> </ul>  |

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 CO<sub>2</sub> 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](https://www.fao.org/3/xii/0077-A1.htm#P10_167); E. D. Larson, C. I. Marrison y R. H. Williams, "CO<sub>2</sub> 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.

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.

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 tradicionales<sup>1</sup>, 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 Costa Rica se han desarrollado diversas iniciativas y estudios que plantean la posibilidad de utilizar los recursos biomásicos como fuente de energía. Por ejemplo, el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) planteó una “Hoja de Ruta de Tecnologías con Base en Residuos de Biomasa para Generación de Energía Térmica en el Sector Industrial en Costa Rica al 2030” (MINAE, 2017) cuya meta principal es delinear estrategias para sustituir combustibles fósiles por biomasa en los procesos de generación de calor de las industrias que contribuyan a disminuir la factura petrolera del país y a reducir los GEI. La Cámara de Industrias de Costa Rica (CICR), que colaboró en la elaboración de la hoja de ruta, ha señalado que la diversificación de la matriz energética puede contribuir a combatir el problema de los altos costos de energía en el país y ha promovido el uso de la biomasa como una alternativa energética (Araya, 2020).

Entre los proyectos destacados sobre la promoción de la bioenergía está el del “Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los cultivos forestales lignocelulósicos” desarrollado desde 2013 por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (Arias-Aguilar y otros, 2017) con el objetivo de aprovechar plantaciones dendroenergéticas mediante tecnologías de transformación de la biomasa en

---

<sup>1</sup> 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).

energía, tales como gasificadores y calderas. Asimismo, se han realizado algunos estudios para conocer el potencial energético de la biomasa en Costa Rica. Entre esos estudios destaca el reporte de Energía, Medio Ambiente y Desarrollo, S.A. (Chacón y otros, 2018) preparado para la Secretaría de Planificación del Sub-Sector Energía (SEPSE), que identifica la oferta y consumo de biomasa por fuente, su localización geográfica y sus usos energéticos para 2015.

A partir de encuestas y entrevistas, que permitieron conocer la demanda de biomasa, junto con información proveniente de reportes de instituciones gubernamentales y organizaciones de diferentes sectores se determinó el potencial energético bruto de la oferta. Dicho potencial asciende a 6 millones de toneladas anuales de biomasa seca equivalentes a 98 PJ anuales más 1 PJ de aguas residuales industriales y urbanas. El 72% de la oferta bruta de energía a base de biomasa proviene de la caña de azúcar (20%), producción de carne de ganado bovino (17%), producción de leche de ganado bovino (14%), leña (11%) y piña (10%).

En lo que respecta a las investigaciones aplicadas sobre el potencial económico de los recursos biomásicos en Costa Rica, se cuenta el estudio sobre el mercado de biomasa forestal en Guanacaste (Ulloa y otros, 2018). En dicho estudio se analizó la oferta proveniente de las plantaciones forestales utilizando datos del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). Esta oferta se contrastó con la demanda de biomasa de las empresas de la zona, que se detectó a través de encuestas. El estudio concluye que el uso de biomasa permitiría ahorros diarios de entre el 57% y el 63% con relación a los combustibles fósiles, sin embargo, también se encontró que la biomasa proveniente del manejo forestal no sería suficiente para cubrir la demanda actual de combustibles.

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 Costa Rica para la generación de calor y electricidad. 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 considerar 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 la demanda actual de bioenergía en algunas actividades de Costa Rica. En capítulo VI se hacen algunas reflexiones y se presentan las conclusiones del documento.



# 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)<sup>2</sup>. 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 (CO<sub>2</sub>) 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 (UE, 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).

---

<sup>2</sup> Se excluyen las formaciones fósiles de las que se obtienen hidrocarburos que, aunque también son el resultado de un proceso biológico que se generó hace millones de años (FAO, 2018; Cey y otros, 2019). La materia orgánica de la que provienen los hidrocarburos en su mayor parte se generó 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 líquida<sup>3</sup>. 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 orina<sup>4</sup>. 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](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](https://www.eia.gov/energyexplained/?page=biomass_waste_to_energy); C. A. García y O. Maserá, *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 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, 2011 [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*, 1998 [en línea] [https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1615/1/Bosques%20Energ%C3%A9ticos20130902\\_08530678.pdf](https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1615/1/Bosques%20Energ%C3%A9ticos20130902_08530678.pdf).

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 y Lumbreras, 2007; FAO, 2004a). Los cultivos herbáceos pueden ser plantas oleaginosas como cacahuete, girasol, palma aceitera, canola, soja y yuca; cereales como

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> Algunos estudios han demostrado que es posible generar electricidad utilizando orina como fuente de energía (Universidad de Bath, 2016).

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 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, Cárcamo 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 cacahuate, plantas del género *Jatropha* (piñón), semilla del ricino, almendra y fruto de la palma africana, palmera burití, semilla de la sachá 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 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (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, pellets<sup>5</sup>, briquetas<sup>6</sup> o pacas<sup>7</sup>, 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).

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

<sup>5</sup> Unidades pequeñas de material compactado.

<sup>6</sup> Bloques sólidos de material compactado.

<sup>7</sup> Paquetes o fardos de material prensado.

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, 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, 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 puede ser 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

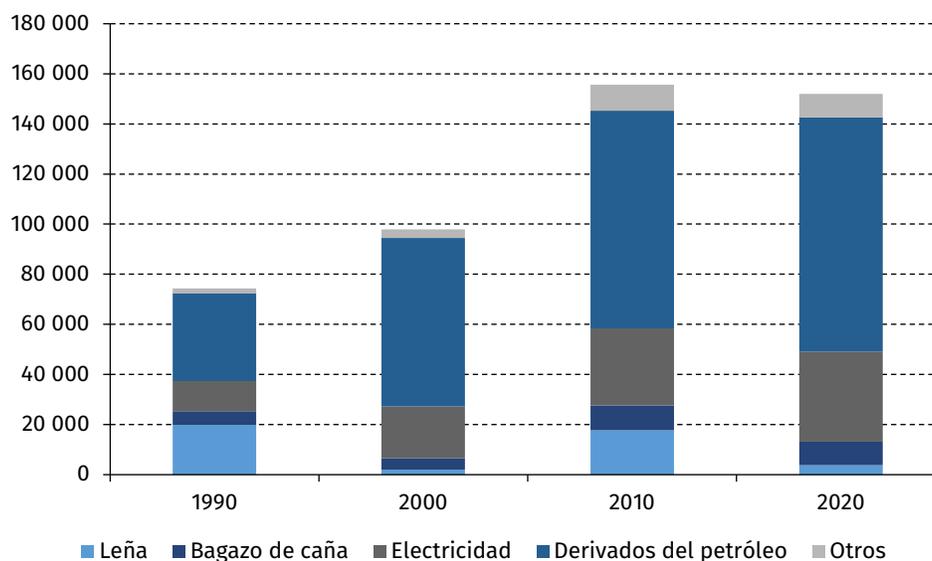
# Análisis del perfil de país para el aprovechamiento energético de la biomasa

### A. Energía

En 1990 el consumo final de energía de Costa Rica era de 74 petajoules y hacia 2020 dicho consumo llegó a casi 152 petajoules (véase el gráfico II.1), lo que implica una tasa de crecimiento anual promedio del 2,5% para el período 1990-2020. Sin embargo, entre 2010 y 2020 el consumo final de energía total ha disminuido a una tasa de crecimiento anual promedio del -0,3%. Si bien la matriz eléctrica de Costa Rica ha llegado a ser casi un 100% renovable en los últimos años, la matriz energética en general aún presenta una fuerte proporción de derivados del petróleo. La participación de los derivados del petróleo pasó del 47% del consumo final de energía en 1990 al 62% del total en 2020 (véase el gráfico II.1). La electricidad, por su parte, representaba un 16% del consumo final de energía en 1990 y en el período 2000-2020 ha representado alrededor del 20% de dicho consumo.

La participación de la leña como porcentaje del consumo energético final ha caído considerablemente, pues en 1990 representaba cerca del 27% del total, mientras que para 2020 ese porcentaje era de apenas del 2,5%. En el caso del bagazo de caña, su participación en el consumo final de energía entre 1990 y 2020 ha estado en el rango del 5% y el 7%. A pesar de los grandes esfuerzos del país por contar con una matriz energética renovable y limpia, una parte importante del consumo final de energía de Costa Rica continúa siendo de derivados del petróleo. 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 CO<sub>2</sub> y a los enormes esfuerzos que realiza el país para alcanzar la carbono-neutralidad.

**Gráfico II.1**  
**Costa Rica: consumo final de energía, 1990-2020**  
 (En terajoules<sup>a</sup>)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe (sieLAC) de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), "Sistema de información energética de Latinoamérica y el Caribe", 2022 [en línea] <https://www.olade.org/sistema-de-informacion-energetica-de-latinoamerica-y-el-caribe-sielac/>.

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

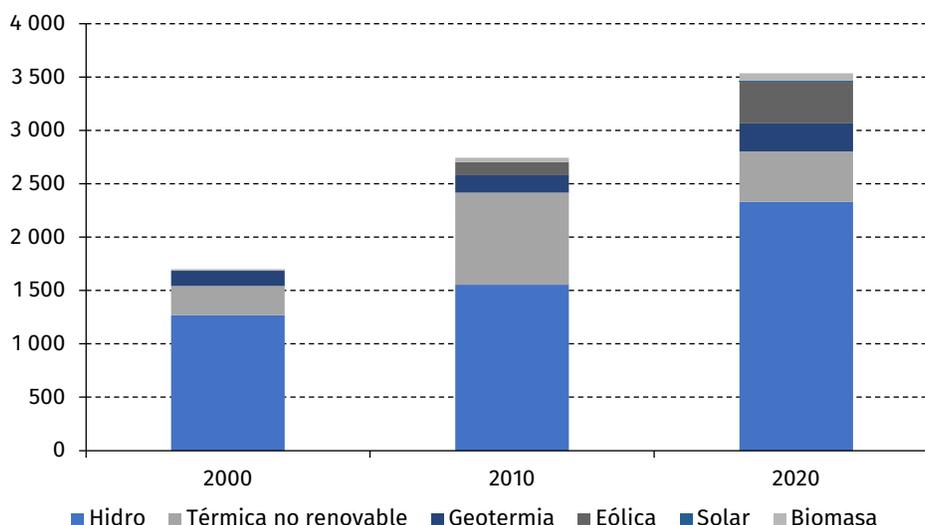
<sup>a</sup> 1 petajoule = 1.000 terajoules.

## 1. Subsector eléctrico

La capacidad instalada para la generación de electricidad pasó de 1.699 MW en 2000 a 3.537 MW en 2020 (véase el gráfico II.2). Una buena parte del crecimiento de la capacidad instalada es explicado por las hidroeléctricas, cuya capacidad pasó de 1.268 MW en 2000 a 2.331 MW en 2020. La capacidad instalada para la generación de electricidad mediante energía eólica pasó de 120 MW en 2010 a 394 MW en 2020, mientras que la capacidad instalada mediante geotermia pasó de 145 MW en 2000 a 262 MW en 2018. Por otro lado, la capacidad instalada para generación de electricidad mediante fuentes de energía térmica no renovables, que había crecido de 274 MW en 2000 hasta 862 MW en 2010, disminuyó su capacidad hasta llegar a 474 MW en 2020, en consonancia con el crecimiento de la capacidad instalada de fuentes renovables convencionales y no convencionales que se ha dado en la última década.

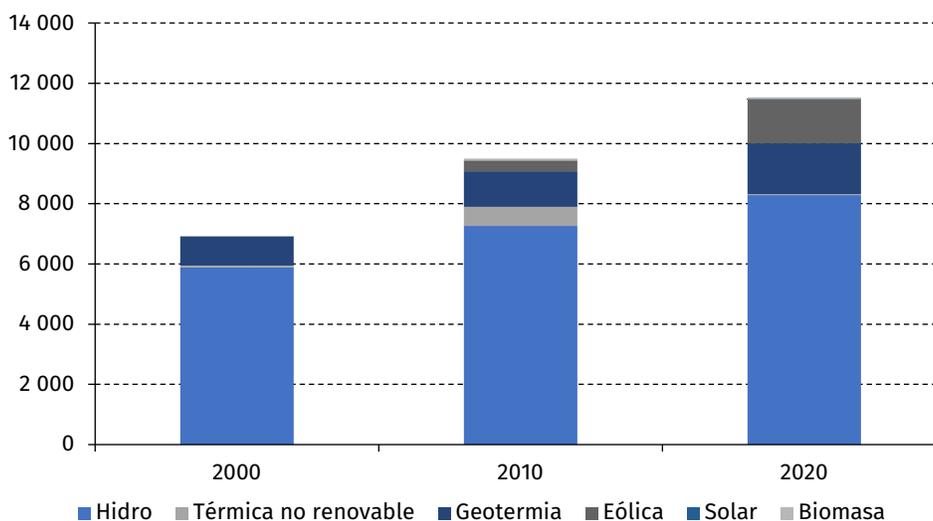
La generación neta de electricidad pasó de 6.933 GWh en 2000 a 11.534 GWh en 2020 (véase el gráfico II.3). En 2020 las hidroeléctricas representaron el 84,8% de la generación neta de electricidad de Costa Rica, luego de pasar de una producción de 5.881 GWh en 2000 a 8.294 GWh en 2020. La generación neta de electricidad mediante fuentes térmicas no renovables pasó de 64 GWh en 2000 a 641 GWh en 2010 y disminuyó significativamente en 2020, llegando a 24 GWh, lo que representa el 0,2% del total de la energía eléctrica generada en ese año. A la par se han presentado aumentos de generación mediante fuentes renovables, destacando la energía eólica, cuya generación neta pasó de 359 GWh en 2010 a 1.459 GWh en 2020, representando el 12,6% de la generación total en ese año. La generación de electricidad a base de biomasa representó el 0,5% de la generación total de electricidad de Costa Rica en 2020.

**Gráfico II.2**  
**Costa Rica: capacidad de generación de electricidad, 2000-2020**  
 (En MW)



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

**Gráfico II.3**  
**Costa Rica: generación de electricidad, 2000-2020**  
 (En GWh)



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

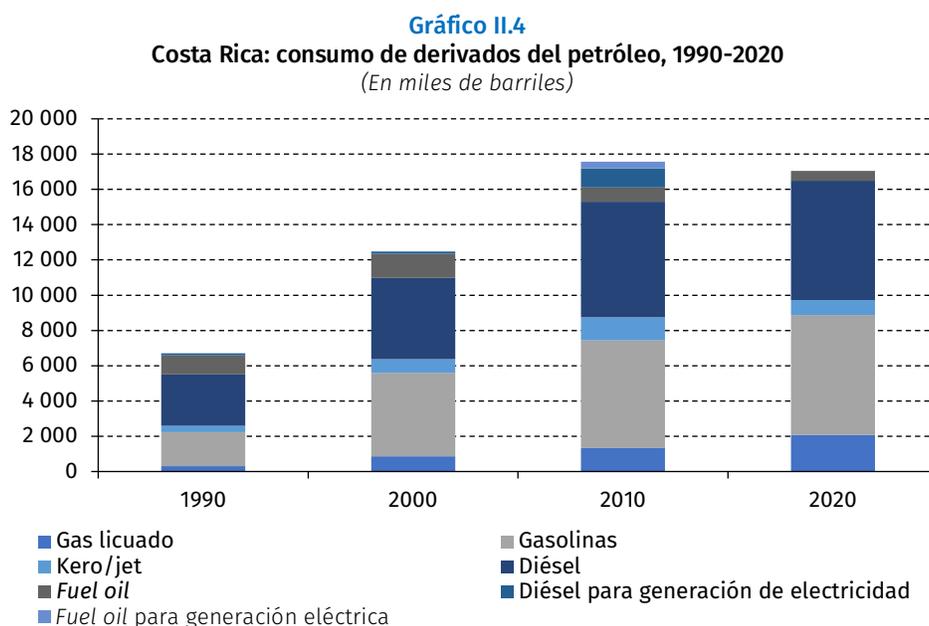
Una de las barreras para el impulso de la generación de electricidad mediante biomasa en Costa Rica ha sido la falta de incentivos para que los generadores privados —como productores agropecuarios y agroindustrias— vendan la electricidad producida mediante residuos biomásicos al Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), pues las tarifas establecidas para la electricidad proveniente de residuos biomásicos (en particular el bagazo de caña) para su compra por parte del ICE son relativamente bajas (Fornaguera, 2015). Si bien existen metodologías para la fijación de las tarifas de venta de electricidad de generadores privados al ICE para el caso del bagazo de caña (ARESEP, 2010) y un modelo y estructura de

costos de una planta de generación de electricidad con biomasa distinta del bagazo de caña (ARESEP, 2011), para incentivar la generación de energía eléctrica con biomasa y hacer más competitivo su precio, el VII Plan Nacional de Energía 2015-2020 (MINAE, 2015) contempló la creación y mejora de las metodologías para la fijación de las tarifas de venta al ICE de electricidad generada a partir de biomasa por parte de entes privados, a fin de hacer más competitivos estos precios.

La generación de electricidad mediante biomasa representó menos del 1% de la generación total de Costa Rica en 2020. Con los incentivos adecuados, los productores agropecuarios y las agroindustrias podrían ampliar sus ingresos mediante la venta de energía eléctrica generada a partir de residuos biomásicos, mientras que algunas industrias podrían utilizar recursos biomásicos para procesos de cogeneración y generación de electricidad para autoconsumo. La disminución del uso de derivados del petróleo para la generación de energía y electricidad mediante su sustitución por bioenergía tiene el potencial de contribuir a una matriz energética más limpia y diversificada.

## 2. Sector hidrocarburos

Como en el caso de todos los países centroamericanos, Costa Rica es un importador neto de hidrocarburos. El consumo de derivados del petróleo ascendió a 17,8 millones de barriles en 2020. El valor total CIF de las importaciones alcanzó los 834,7 millones de dólares. Los hidrocarburos importados equivalían al 4,2% de las exportaciones totales de Costa Rica en 2020 (Torijano, 2022). En 2020, alrededor del 80% del consumo de derivados del petróleo se concentró en el diésel (cerca del 40%) y las gasolinas (cerca del 40%) (véase el gráfico II.4). En 1990, Costa Rica consumía 1,9 millones de barriles de gasolina, cantidad que llegó a los 6,8 millones de barriles en 2020. En lo que respecta al diésel, su consumo pasó de 2,9 millones de barriles en 1990 a 6,8 millones de barriles en 2020.



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

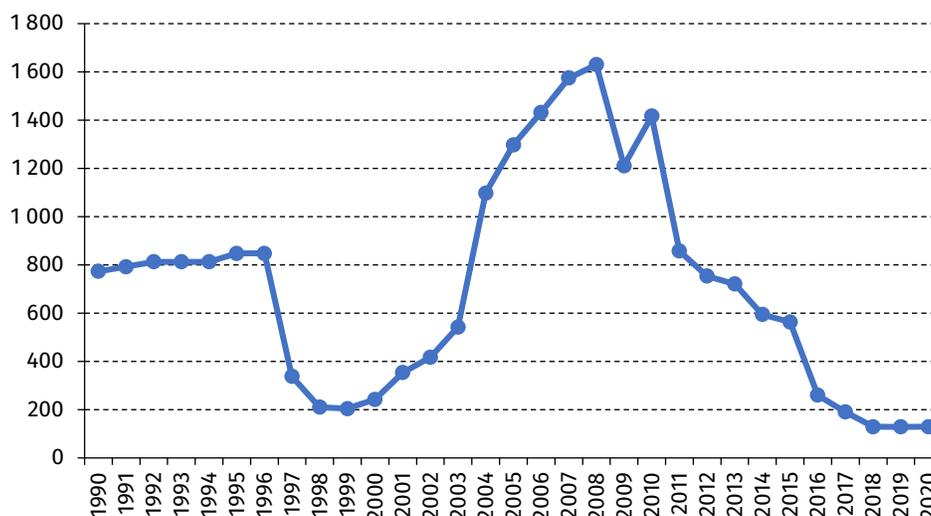
Costa Rica es uno de los países del SICA con menor consumo de gas licuado, debido a que una buena parte de la población costarricense utiliza electricidad para cocción de alimentos. Sin embargo, su consumo ha aumentado, pasando de representar 4,4% (293.000 barriles) del total de consumo de derivados de petróleo en 1990 hasta más del 10% en 2020 (2,1 millones de barriles). Los esfuerzos del país por contar con una matriz eléctrica 100% renovable se reflejan en el consumo de diésel y *fuel oil* ligado a la generación de electricidad, que representaron el 0% del consumo total de derivados del petróleo en 2020.

Si bien la utilización de derivados del petróleo para la generación eléctrica es del 0,2% del total del consumo de hidrocarburos en Costa Rica, existen oportunidades para sustituir derivados del petróleo por recursos biomásicos en la producción de energía, particularmente en procesos industriales que requieren generación de calor. La utilización de recursos biomásicos en procesos de cogeneración en la industria podría contribuir al objetivo de la carbono-neutralidad de Costa Rica.

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

Entre 1990 y 1996, el consumo de leña en los hogares costarricenses se mantuvo por encima de los 750.000 m<sup>3</sup>, pero por debajo de los 850.000 m<sup>3</sup>. Luego, en 1997, tuvo un marcado descenso hasta llegar a su menor nivel entre 1990 y 2000: 205.000 m<sup>3</sup> en 1999. A partir de 2000 el consumo de leña de los hogares comenzó a aumentar hasta llegar a su mayor nivel entre 1990 y 2020: 1,6 millones de m<sup>3</sup> en 2008. A partir de 2009 el consumo de leña en los hogares ha disminuido paulatinamente y para 2020 su consumo fue de 130.000 m<sup>3</sup>, el menor nivel de consumo de leña en los hogares de los países del SICA (véase el gráfico II.5).

**Gráfico II.5**  
Costa Rica: consumo de leña de los hogares, 1990-2020  
(En miles de m<sup>3</sup>)



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de Naciones Unidas, UN DATA, División de Estadísticas de las Naciones Unidas, s/f [base de datos en línea] <http://data.un.org/>.

Nota: De 1993 a 2020 se trata de estimaciones.

El menor volumen de leña consumido en los hogares de Costa Rica se refleja en la alta proporción de hogares que utilizan electricidad y gas para cocinar, que es del 95,6%, de acuerdo con la Encuesta Nacional de los Hogares (ENAH0) de 2021. Se observa que, si bien entre 2010 y 2021 disminuyó, en términos relativos, la proporción de hogares que utilizan primordialmente

electricidad para cocinar, pasando de 55,8% de los hogares en 2010 a 47,4% en 2021, los hogares que utilizan gas como fuente para cocinar pasaron del 35,7% en 2010 al 48,2% en 2021. Los hogares que utilizan leña o carbón como principal fuente para cocinar disminuyeron del 7,7% en 2010 al 3,9% en 2021 (véase el cuadro II.1).

**Cuadro II.1**  
**Costa Rica: principal fuente de energía para cocinar del total de los hogares, 2010, 2015 y 2021**  
(En número de casos y porcentajes)

| Fuente de energía | 2010      |                  | 2015      |                  | 2021      |                  |
|-------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
|                   | Casos     | (en porcentajes) | Casos     | (en porcentajes) | Casos     | (en porcentajes) |
| Electricidad      | 706 369   | 55,8             | 751 485   | 52,3             | 782 001   | 47,4             |
| Gas               | 451 474   | 35,7             | 594 960   | 41,4             | 794 770   | 48,2             |
| Leña o carbón     | 97 591    | 7,7              | 77 722    | 5,4              | 64 455    | 3,9              |
| Otro              | 839       | 0,1              | 116       | 0,08             |           |                  |
| No cocina         | 10 125    | 0,8              | 11 837    | 0,8              | 9 135     | 0,6              |
| Total             | 1 266 398 | 100              | 1 436 120 | 100              | 1 650 361 | 100              |

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), "Encuesta Nacional de los Hogares (ENAHOG)", 2010, 2015 y 2021 [en línea] <https://www.inec.cr/encuestas/encuesta-nacional-de-hogares>.

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 Costa Rica y las consecuencias para las mujeres por la cocción de alimentos mediante fogones tradicionales a base de leña.

#### Recuadro II.1

##### Costa Rica: uso de leña para cocinar en fogones tradicionales y efectos negativos en las mujeres

De acuerdo con información de siELAC-OLADE para 2020, solo un 2,5% del consumo final de energía de Costa Rica corresponde a leña. De acuerdo con la ENAHOG 2021, solo el 3,9% de los hogares utilizan leña o carbón como principal combustible para cocinar. A pesar de que el uso de leña para cocinar en fogones tradicionales es relativamente bajo en Costa Rica y de que su utilización ha disminuido en las áreas rurales, en las últimas dos décadas ha aumentado su uso en entornos urbanos, probablemente debido al aumento de la pobreza y pobreza extrema en zonas urbanas. 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 sobre la base de 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).

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 que 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 Costa Rica, 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.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los hogares de las áreas urbanas, se presenta un aumento de los hogares que utilizan leña o carbón para cocinar, que pasaron de representar el 1,7% de los hogares urbanos en 2010 al 5,2% en 2021. Sin embargo, la proporción de hogares urbanos que utilizan electricidad o gas para cocinar es muy alta, llegando al 97,6% en 2010 y al 93,1% en 2021 (véase el cuadro II.2). La proporción de hogares rurales que utiliza leña o carbón como principal fuente para cocinar en Costa Rica llegó al 17,8% en 2010, al 14,3% en 2015 y al 11,1% en 2021. En 2010, el 81% de los hogares rurales costarricenses utilizaban electricidad o gas como energético para cocinar, mientras que esta proporción aumentó al 88,3% en 2021 (véase el cuadro II.3).

**Cuadro II.2**  
**Costa Rica: principal fuente de energía para cocinar de los hogares urbanos, 2010, 2015 y 2021**  
(En número de casos y porcentajes)

| Fuente de energía | 2010    |                  | 2015      |                  | 2021      |                  |
|-------------------|---------|------------------|-----------|------------------|-----------|------------------|
|                   | Casos   | (en porcentajes) | Casos     | (en porcentajes) | Casos     | (en porcentajes) |
| Electricidad      | 521 108 | 65,6             | 620 229   | 59,7             | 656 395   | 55,2             |
| Gas               | 253 912 | 32,0             | 390 673   | 37,6             | 450 202   | 37,9             |
| Leña o carbón     | 13 472  | 1,7              | 20 894    | 2,0              | 61 321    | 5,2              |
| Otro              | 0       | 0,0              | 0         | 0,0              |           |                  |
| No cocina         | 5 393   | 0,7              | 7 436     | 0,7              | 20 398    | 1,72             |
| Total             | 793 885 | 100              | 1 039 232 | 100              | 1 188 316 | 100              |

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), "Encuesta Nacional de los Hogares (ENAH0)", 2010, 2015 y 2021 [en línea] <https://www.inec.cr/encuestas/encuesta-nacional-de-hogares>.

**Cuadro II.3**  
**Costa Rica: principal fuente de energía para cocinar de los hogares rurales, 2010, 2015 y 2021**  
(En número de casos y porcentajes)

| Fuente de energía | 2010    |                  | 2015    |                  | 2021    |                  |
|-------------------|---------|------------------|---------|------------------|---------|------------------|
|                   | Casos   | (en porcentajes) | Casos   | (en porcentajes) | Casos   | (en porcentajes) |
| Electricidad      | 185 261 | 39,2             | 131 256 | 33,1             | 119 285 | 27,2             |
| Gas               | 197 562 | 41,8             | 204 287 | 51,5             | 267 881 | 61,1             |
| Leña o carbón     | 84 119  | 17,8             | 56 828  | 14,3             | 48 556  | 11,1             |
| Otro              | 839     | 0,2              | 116     | 0,03             |         |                  |
| No cocina         | 4 732   | 1,0              | 4 401   | 1,1              | 2 920   | 0,7              |
| Total             | 472 513 | 100              | 396 888 | 100              | 438 642 | 100              |

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), "Encuesta Nacional de los Hogares (ENAH0)", 2010, 2015 y 2021 [en línea] <https://www.inec.cr/encuestas/encuesta-nacional-de-hogares>.

Alrededor del 4% de los hogares costarricenses utilizan leña como fuente de energía para cocinar. Si bien es el porcentaje más bajo de todos los países del SICA, aún es deseable disminuir el uso de leña para cocción de alimentos en los hogares, principalmente para aliviar una posible presión sobre los bosques, además de considerar el reto que representa hacer llegar electricidad o gas a estos consumidores de la última milla. El uso de otros recursos biomásicos ampliamente disponibles (como 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 puede contribuir a dichos objetivos, 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

De acuerdo con FAOSTAT, en 2017 el 59,1% de la superficie terrestre de Costa Rica estaba cubierta de bosques, mientras que el 34,8% de dicha superficie correspondía a tierras para usos agropecuarios (cultivos y pastizales) (véase el cuadro II.4). Entre 1990 y 2019 se presentó un aumento de la tierra de cultivo del 10% al 11,3%, mientras que las tierras destinadas a pastizales disminuyeron su superficie, pasando del 33,1% en 1990 al 23,5% en 2019. La superficie forestal aumentó del 56,9% en 1990 al 59,1% en 2019. La mayor ganancia de superficie terrestre se registró en los otros usos, pasando del 0% en 1990 al 6,1% en 2019.

**Cuadro II.4**  
**Costa Rica: uso de suelo, 1990-2019**  
(Como porcentaje de la superficie terrestre total)

| Tipo de suelo                         | 1990 | 2000 | 2010 | 2015 | 2019 |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Tierra agrícola                       | 43,1 | 36   | 35,6 | 34,8 | 34,8 |
| Tierra de cultivo                     | 10,0 | 9,6  | 10,6 | 10,9 | 11,3 |
| Tierra de prados y pastos permanentes | 33,1 | 26,4 | 25   | 23,9 | 23,5 |
| Bosque                                | 56,9 | 56   | 56,2 | 57,8 | 59,1 |
| Otros usos                            | 0,0  | 8,0  | 8,1  | 7,4  | 6,1  |

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>.

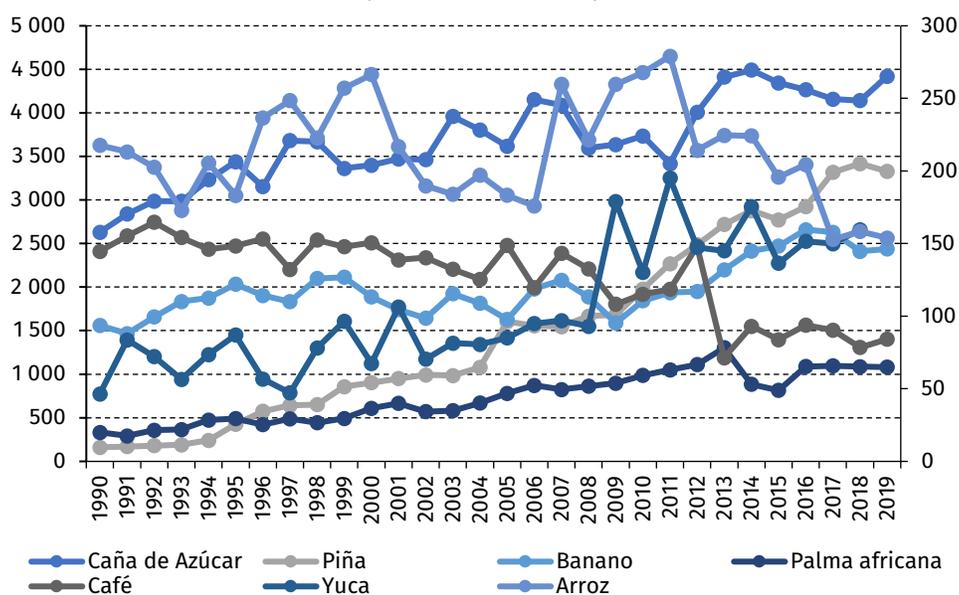
Costa Rica cuenta con un gran potencial para la producción sostenible de dendroenergía debido a sus importantes recursos forestales. En el caso de los residuos biomásicos del sector forestal, su utilización como energético permitiría darles un uso a recursos que de otra manera serían desechados. En lo que respecta a la implementación de cultivos y bosques energéticos gestionados de manera sostenible, estos permitirán 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 cultivos agrícolas de Costa Rica. En el caso de la producción de caña de azúcar, esta ha aumentado paulatinamente en las últimas tres décadas. De 1990 a 1999 el promedio de producción anual de caña de azúcar fue de 3,2 millones de toneladas, para el período 2000-2009 dicho promedio fue de 3,7 millones de

toneladas, mientras que para el período 2010-2019 el promedio anual se elevó a 4,1 millones de toneladas. Por su parte, debido a la creciente demanda a nivel internacional, la producción de piña pasó de 160.000 toneladas en 1990 hasta 3,3 millones de toneladas en 2019.

**Gráfico II.6**  
**Costa Rica: producción de los principales cultivos agrícolas, 1990-2019**  
(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, s/f [base de datos en línea] [https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB\\_CEPALSTAT/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e](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, piña, banano y palma africana, y en el eje vertical derecho se mide el volumen de producción del café, yuca y arroz.

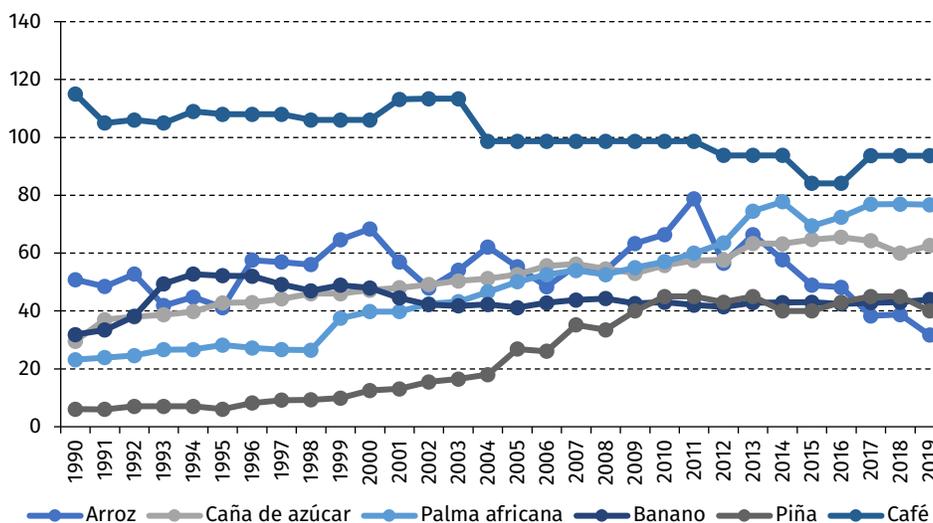
En el caso del banano, como otros países de Centroamérica, este ha sido tradicionalmente un producto de exportación de Costa Rica, cuya producción se ha mantenido por encima de 1,5 millones de toneladas, pero por debajo de 2,5 millones de toneladas que tuvo entre 1990 y 2019. La palma africana, por su parte, ha tenido una tendencia ascendente en su producción y se ha convertido en uno de los principales productos agrícolas del país debido a que este cultivo es utilizado para fabricar aceite y en los últimos años presenta una gran demanda a nivel internacional. La producción de palma africana pasó de 333.000 toneladas en 1990 hasta llegar a más de un millón de toneladas desde 2016.

En lo que respecta al café, su producción se había mantenido por encima de las 100.000 toneladas y por debajo de 165.000 toneladas entre 1990 y 2012. Después de 2013, la producción bajó a menos de 100.000 toneladas, en parte por los efectos de una plaga de roya. Costa Rica tiene una importante producción de arroz, que ha oscilado entre más de 150.000 toneladas y menos de 280.000 toneladas en el período 1990-2019, aunque con una tendencia a la baja en años recientes.

Si bien ha disminuido su superficie cosechada en los últimos años, el café continúa siendo el cultivo con la mayor superficie cosechada en Costa Rica (véase el gráfico II.7). En 1990 la superficie cosechada de café fue de 115.000 hectáreas y para 2019 esa superficie fue de 94.000 hectáreas. Entre los cultivos que han aumentado notablemente su superficie cosechada se encuentran la caña de azúcar, la piña y la palma africana. La superficie cosechada de caña de azúcar pasó de 29.000 hectáreas en 1990 a más de 60.000 hectáreas a partir de 2013. En el

caso de la piña, su superficie cosechada pasó de 6.000 hectáreas a más de 40.000 hectáreas desde 2009. La palma africana, por su parte, pasó de 23.000 hectáreas en 1990 a 77.000 hectáreas de superficie cosechada en 2019. El arroz, uno de los granos básicos de mayor producción en Costa Rica, ha disminuido su superficie cosechada de casi 51.000 hectáreas en 1990 a 32.000 hectáreas en 2019.

**Gráfico II.7**  
**Costa Rica: cultivos con mayor superficie cosechada, 1990-2019**  
(En miles de hectáreas)

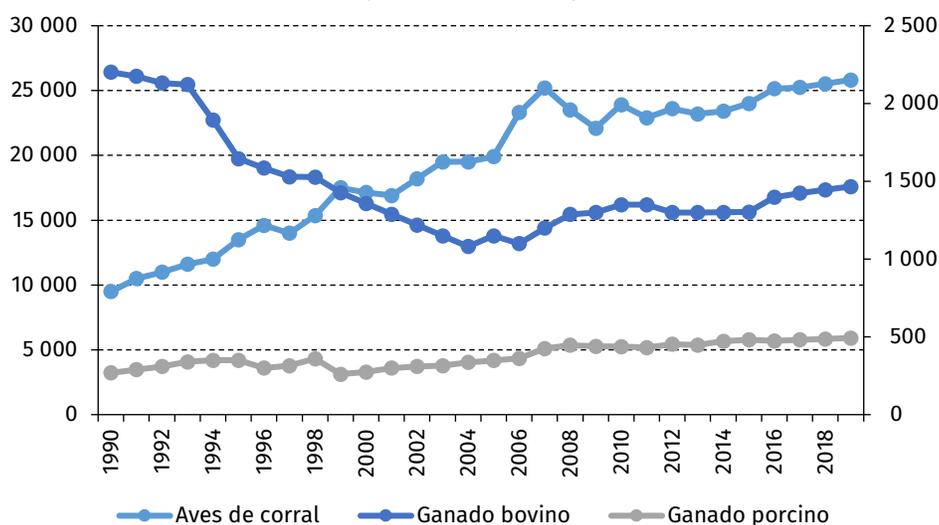


Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Sistema de información agropecuaria de Centroamérica y la República Dominicana (SIAGRO)/CEPALSTAT, s/f [base de datos en línea] [https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB\\_CEPALSTAT/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e](https://estadisticas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

Las existencias de aves de corral, como se puede observar en el gráfico II.8, han aumentado significativamente en el período 1990-2019. Estas pasaron de 9,5 millones de cabezas en 1990 a 25,8 millones de cabezas en 2019. Entre 1990 y 2004 se presentó una disminución de las existencias de ganado bovino de 2,2 millones de cabezas hasta 1,1 millones de cabezas. A partir de 2005 las existencias de ganado bovino presentan una ligera tendencia ascendente, llegando hasta 1,5 millones de cabezas en 2019. Las menores existencias de ganado bovino son consistentes con la disminución del uso de suelo para pastizales que se ha dado en el período 1990-2019 (véase el cuadro II.5). Las existencias de ganado porcino presentan una tendencia al alza, pasando de 270.000 cabezas en 1990 a 493.000 cabezas en 2019.

Varios de los principales productos agrícolas de Costa Rica -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 café (pulpa, cáscara y mucílago), el arroz (granza) y la piña (rastroyo y corona). 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.

**Gráfico II.8**  
**Costa Rica: existencias de ganado, 1990-2019**  
 (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, s/f [base de datos en línea] [https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB\\_CEPALSTAT/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e](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.

### 3. Producción silvícola

El principal producto silvícola de Costa Rica es la producción de madera en rollo, que se ha mantenido en un rango de entre 3,5 y 3,7 millones de m<sup>3</sup> entre 2000 y 2019 (véase el cuadro II.5). La madera aserrada promedió una producción de 486.000 m<sup>3</sup> entre 2000 y 2009, mientras que para el período 2010-2019 el promedio fue de 469.000 m<sup>3</sup>. El uso productivo de astillas, partículas y residuos de madera pasó de 52.000 m<sup>3</sup> en 2015 a más de 500.000 m<sup>3</sup> en 2016 y 2017 y casi 300.000 m<sup>3</sup> en 2018 y 2019. Asimismo, en los últimos años se ha realizado la producción de pellets y de otros productos aglomerados de madera presentando un promedio anual de producción de 25.000 m<sup>3</sup> entre 2012 y 2019.

La implementación de bosques energéticos y plantaciones forestales gestionadas de manera sostenible puede contribuir a impulsar la industria forestal de Costa Rica, que en los últimos años ha estancado 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 Costa Rica 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.

**Cuadro II.5**  
**Costa Rica: volumen de producción silvícola, 2000-2019**  
 (En miles de toneladas y miles de m<sup>3</sup>)

| Producto  | 2000  | 2001  | 2002  | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Madera en rollo   | 3 732 | 3 720 | 3 709 | 3 700 | 3 691 | 3 684 | 3 670 | 3 657 | 3 644 | 3 633 | 3 623 | 3 610 | 3 598 | 3 586 | 3 576 | 3 566 | 3 549 | 3 533 | 3 518 | 3 504 |
| Combustible de madera (incluida madera para carbón vegetal) | 3 486 | 3 474 | 3 463 | 3 454 | 3 445 | 3 438 | 3 424 | 3 411 | 3 398 | 3 387 | 3 377 | 3 364 | 3 352 | 3 340 | 3 330 | 3 320 | 3 303 | 3 287 | 3 272 | 3 258 |
| Madera en rollo industrial (madera en bruto)                | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   | 246   |
| Carbón vegetal de madera                                    | 9     | 9     | 10    | 10    | 10    | 10    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 12    | 12    | 12    | 12    | 12    | 13    | 13    | 13    | 13    |
| Astillas, partículas y residuos de madera                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 52    | 52    | 52    | 52    | 52    | 511   | 543   | 299   | 291   |
| Pellets de madera y otros productos aglomerados             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 30    | 30    | 23    | 24    | 24    | 22    | 22    | 22    |
| Madera aserrada   | 371   | 475   | 372   | 357   | 414   | 476   | 587   | 670   | 615   | 524   | 540   | 459   | 529   | 466   | 455   | 455   | 455   | 439   | 452   | 439   |
| Tableros a base de madera                                   | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 22    | 47    | 47    | 47    | 47    | 47    |
| Pulpa de madera   | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |       |       |       |
| Papel recuperado  | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 11    | 29    | 29    | 29    | 29    | 35    | 85    | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   | 110   |
| Papel y cartón  | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 350   | 337   | 337   | 337   | 337   | 337   |

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

## C. Población, población ocupada y pobreza

Se estima que la población de Costa Rica alcanzó 5,1 millones de habitantes en 2020, un 63% más que en 1990 cuando la población era de 3,1 millones de habitantes (véase el cuadro II.6). Para 2030 se proyecta que la población llegue a 5,5 millones de habitantes, un crecimiento de aproximadamente 7,3% con respecto a 2020.

**Cuadro II.6**  
**Costa Rica: población total según sexo, 1990-2030**  
(En miles de personas a mitad de año)

|         | 1990  | 2000  | 2010  | 2015  | 2020  | 2030  |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hombres | 1 571 | 1 989 | 2 293 | 2 426 | 2 545 | 2 726 |
| Mujeres | 1 548 | 1 974 | 2 285 | 2 422 | 2 549 | 2 742 |
| Total   | 3 119 | 3 962 | 4 577 | 4 848 | 5 094 | 5 468 |

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>.

La población menor a 35 años en Costa Rica se redujo del 71% de la población total en 1990 al 52,6% en 2020 (véase el cuadro II.7). Esta disminución contrasta con el aumento de la población en los demás grupos etarios durante el período 1990-2020. Para 2030 se espera que la proporción de la población menor a 35 años disminuya significativamente para llegar al 45,2% del total. La población mayor a 35 años alcanzará casi el 55% de la población total en 2030, lo que contrasta significativamente con relación a la proporción que se presentó en 1990, que fue menor al 30% del total de la población. Se espera que el grupo etario de 65 años y más represente el 15,1% de la población total en 2030, un aumento de más del 10% con relación a 1990.

**Cuadro II.7**  
**Costa Rica: estructura poblacional por grupos de edad, 1990-2030**  
(En porcentajes)

| Año  | De 0 a 14 años | De 15 a 34 años | De 35 a 49 años | De 50 a 64 años | De 65 años y más |
|------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 1990 | 35,6           | 35,4            | 15,7            | 8,7             | 4,6              |
| 2000 | 31,2           | 33,7            | 19,5            | 10,1            | 5,6              |
| 2010 | 24,3           | 34,8            | 20,2            | 13,4            | 7,3              |
| 2015 | 22,1           | 34,0            | 19,8            | 15,4            | 8,7              |
| 2020 | 20,8           | 31,8            | 20,5            | 16,6            | 10,3             |
| 2030 | 18,0           | 27,2            | 22,8            | 17,0            | 15,1             |

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 1990 la mitad de la población costarricense se situaba en zonas urbanas, mientras que la otra mitad se localizaba en áreas rurales (véase el cuadro II.8). Para 2020 las áreas urbanas de Costa Rica concentraban el 81% de la población. Se espera que para 2030 el 87% de la población se concentre en zonas urbanas.

**Cuadro II.8**  
**Costa Rica: distribución porcentual de la población en áreas urbana y rural, 1990-2030**  
 (En porcentajes)

| Año    | 1990 | 2000 | 2010 | 2015 | 2020 | 2030 |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| Urbana | 50   | 59   | 72   | 77   | 81   | 87   |
| Rural  | 50   | 41   | 28   | 23   | 19   | 13   |

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>.

De acuerdo con CEPALSTAT, el valor agregado del sector agropecuario ha disminuido su participación en el PIB al pasar de representar casi el 7% del PIB en 2000 a menos de 5% del PIB en 2018. Esta disminución de la participación del valor agregado del sector agropecuario en el PIB se refleja también en la menor cantidad de población empleada en el sector, que disminuyó de 17% en 2000 a 12% en 2020 (véase el cuadro II.9).

**Cuadro II.9**  
**Costa Rica: estructura de la población ocupada por sector de actividad económica, 2001-2020**  
 (En porcentajes)

| Año  | Agricultura | Minería | Manufactureras | Electricidad,<br>gas y agua | Construcción |
|------|-------------|---------|----------------|-----------------------------|--------------|
| 2000 | 16,9        | 0,2     | 14,9           | 0,8                         | 6,7          |
| 2005 | 15          | 0,2     | 13,7           | 1,2                         | 6,5          |
| 2010 | 15          | 0,1     | 12             | 1,9                         | 5,5          |
| 2015 | 11,4        | 0,1     | 10,6           | 1,5                         | 6,3          |
| 2020 | 12,2        | 0,1     | 11,9           | 1,5                         | 6,0          |

| Año  | Comercio | Transporte | Servicios<br>financieros | Otros servicios | No especificados |
|------|----------|------------|--------------------------|-----------------|------------------|
| 2000 | 21,4     | 6,3        | 5,4                      | 26,8            | 0,4              |
| 2005 | 24,2     | 6,3        | 7,9                      | 24,6            | 0,8              |
| 2010 | 23,4     | 6,3        | 9,3                      | 25,8            | 0,8              |
| 2015 | 23,8     | 6,4        | 12,1                     | 27,8            | 0,1              |
| 2020 | 20,7     | 7,2        | 12,7                     | 27,6            | 0,1              |

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>.

La pobreza en Costa Rica pasó del 27,4% de la población total en 2000 al 19,4% en 2020, al tiempo que se redujo la pobreza extrema, que pasó del 4,9% de la población en 2000 al 4% en 2020 (véase el cuadro II.10). En 2000, el 20,1% de la población urbana se encontraba en situación de pobreza, mientras que en 2020 el 18,4% de la población urbana se encontraba en dicha situación. En lo que respecta a la pobreza extrema en las zonas urbanas, el 2,8% de la población urbana se encontraba en dicha situación en 2000; esta proporción aumentó al 3,8% en 2020. En las áreas rurales la población en situación de pobreza pasó del 38% en 2000 al 22,3% en 2020, mientras que la pobreza extrema disminuyó del 7,9% de la población rural en 2000 al 4,8% en 2020.

**Cuadro II.10****Costa Rica: población en situación de pobreza extrema<sup>a</sup> y pobreza<sup>b</sup> según área geográfica, 2001-2020**  
(En porcentajes)

| Años     | Pobreza extrema | Pobreza |
|----------|-----------------|---------|
| Nacional |                 |         |
| 2000     | 4,9             | 27,4    |
| 2005     | 4,5             | 25,2    |
| 2010     | 4,1             | 19,0    |
| 2015     | 4,6             | 17,4    |
| 2020     | 4,0             | 19,4    |
| Años     | Pobreza extrema | Pobreza |
| Urbana   |                 |         |
| 2000     | 2,8             | 20,1    |
| 2005     | 3,0             | 19,2    |
| 2010     | 2,0             | 13,6    |
| 2015     | 3,3             | 14,3    |
| 2020     | 3,8             | 18,4    |
| Años     | Pobreza extrema | Pobreza |
| Rural    |                 |         |
| 2000     | 7,9             | 38,0    |
| 2005     | 6,8             | 34,0    |
| 2010     | 7,5             | 27,6    |
| 2015     | 8,2             | 25,4    |
| 2020     | 4,8             | 22,3    |

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>.

<sup>a</sup> 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.

<sup>b</sup> 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.

El uso de recursos biomásicos como fuente de energía tiene el potencial de contribuir a la creación de empleos en áreas rurales. El sector agropecuario y silvícola costarricense ha perdido dinamismo en los últimos años, por lo que si se quiere retener a la cada vez menor población rural del país es necesario crear oportunidades de empleo en las zonas rurales, incluyendo trabajos asociados a la generación de bioenergía. Por ejemplo, la recolección, procesamiento y venta de residuos biomásicos podría ser una fuente alternativa de ingresos para las familias rurales. A continuación se presenta la metodología utilizada para calcular el potencial energético de la biomasa en Costa Rica 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.



## 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 línea (véase <https://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

Al no contar con información georreferenciada completa sobre las empresas forestales de Costa Rica, las estimaciones se llevaron a cabo utilizando datos estadísticos oficiales no espacializados. El volumen de la producción forestal maderable se obtuvo de las estadísticas disponibles en el Sistema de Información de Recursos Forestales (SIREFOR, 2020) del MINAE, en el que el volumen<sup>8</sup> para los permisos otorgados en 2017 fue de 438.000 m<sup>3</sup>, en 2018 fue de 459.000 m<sup>3</sup>, en 2019 fue de 370.000 m<sup>3</sup> y en 2020 de 470.000 m<sup>3</sup>.

El volumen de producción forestal destinado a aserraderos se estimó en base a la información obtenida del reporte Usos y Aportes de la Madera en Costa Rica (Barrantes y Ugalde, 2020) de la Oficina Nacional Forestal (ONF), donde se calculó un consumo de 875.000 m<sup>3</sup> de madera en rollo para 2019. Los coeficientes de generación de residuos corresponden a:

- i) La fracción de la extracción forestal que puede ser utilizada con fines energéticos.
- ii) La fracción de la madera que se pierde como residuos de los aserraderos.

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

---

<sup>8</sup> Existen 10 modalidades de solicitud para el aprovechamiento forestal en Costa Rica (SIREFOR, 2020): i) planes de manejo de bosque; ii) permisos pequeños; iii) permisos en bosque menores o iguales a 2 hectáreas; iv) inventarios forestales (no superan los 3 árboles maderables por hectárea y exceden los 10 árboles por inmueble por año); v) permisos de conveniencia nacional; vi) permisos de mantenimiento vial; vii) permisos de seguridad humana; viii) sistemas agroforestales; ix) certificados de origen de plantación forestal, y x) los permisos otorgados por el artículo 36 del reglamento a la ley forestal 7575.

## 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 cual se calculó un índice de productividad basado en 4 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 Vegetal 2012” del Inventario Nacional Forestal de Costa Rica y las disponibles en el portal del Sistema de Información de Recursos Forestales (SIREFOR) de Costa Rica. Los criterios clave utilizados fueron:

- i) coberturas con vegetación secundaria;
- ii) pendientes menores a 10°;
- iii) superficie accesible alrededor de localidades y al costado de carreteras principales; y
- iv) precipitación total anual.

Se obtuvieron superficies con valores de índice de aptitud variables entre 0 y 1, indicando diferente potencial para el establecimiento de plantaciones forestales. Valores cercanos a 0 indican potencial bajo, y valores cercanos a 1 indican las mejores condiciones de aptitud para las plantaciones, resultando 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 los que se utilizaron valores de productividad mínimos y máximos (considerando los criterios dentro del método multicriterio). 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 del Sistema de Información de Recursos Forestales (SIREFOR) de Costa Rica. Los valores de productividad volumétrica se obtuvieron de casos de estudio con condiciones de crecimiento similares a las de Costa Rica como, por ejemplo, el estudio de Piotto (2007).

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 (que varía de acuerdo con la aptitud del terreno). Se utilizó un peso específico promedio de la madera de 0,5 tMS/m<sup>3</sup> y un contenido energético promedio de 18 GJ/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 bosques, matorrales y las zonas destinadas actualmente a agricultura de alimentación). Para determinar el equivalente energético del potencial (PJ/año) se consideró que:

- i) 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.
- ii) 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 Costa Rica está diferenciada en dos grandes sectores y tipos de tecnologías. La demanda del sector residencial/pequeña industria (uso tradicional), caracterizada principalmente por tecnologías de pequeña potencia, y la demanda de mediana y alta potencia, referida al sector industrial y a la generación de energía eléctrica.

Existe un uso creciente de biomasa en tecnologías de mediana y alta potencia, pues 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, principalmente para autoconsumo. A continuación, se explican las fórmulas utilizadas para estimar la demanda de biomasa, principalmente para tecnologías de mediana y alta potencia.

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:

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

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 (en porcentaje);

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

Para determinar la energía generada, se considera un factor de carga del 80%, un factor de disponibilidad del 90% y una eficiencia de planta del 30%. Para estimar el consumo anual de biomasa se contempla un factor de conversión de 4,2 MWh por tMS. Para convertir las tMS a su equivalente energético en PJ se consideró un PCI igual a 15 PJ por millón de tMS para los residuos agroindustriales y un PCI de 18 PJ por millón de tMS para los recursos forestales.

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 y del generador, entre otros. En el cuadro III.1 se presentan las eficiencias más comunes, tomadas como referencia para este trabajo, de acuerdo con el recurso usado como combustible y su uso final.

**Cuadro III.1**  
**Coefficientes para la conversión energética de diferentes recursos biomásicos**

| Recurso        | Vector energético   | CH inicial<br>(en porcentajes) | CH final<br>(en porcentajes) | Uso final                   | Eficiencia planta<br>(en porcentajes) |
|----------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| Cítricos       | Cáscara de cítricos | 85                             | 30                           | Producción vapor de proceso | 70                                    |
| Forestal       | Astilla – Pellet    | 50                             | 10                           | Producción vapor de proceso | 85                                    |
| Caña de azúcar | Bagazo              | 50                             | 40                           | Cogeneración                | 78                                    |
| Forestal       | Astilla             | 50                             | 35                           | Cogeneración                | 85                                    |
| Forestal       | Pellet              | 40                             | 10                           | Cogeneración                | 85                                    |
| Forestal       | Astilla             | 50                             | 35                           | Electricidad                | 30                                    |
| Forestal       | Pellet              | 40                             | 10                           | Electricidad                | 30                                    |
| Forestal       | Leña                | 50                             | 40                           | Calefacción                 | 70                                    |
| Forestal       | Astilla             | 50                             | 35                           | Calefacción                 | 80                                    |
| Forestal       | Pellet              | 40                             | 10                           | Calefacción                 | 90                                    |
| Forestal       | Leña                | 50                             | 40                           | Cocción                     | 18                                    |

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 moto generador:

$$P = \frac{Pb \cdot Ef_m \cdot Ef_g}{Fp \cdot t} \quad (2)$$

donde:

P = potencia que se podría instalar (MW);

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

Efm = eficiencia del motor (en porcentaje);

Efg = eficiencia del generador (en porcentaje);

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:

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

donde:

P = potencia que se podría instalar (MW);

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

Efc = eficiencia de la caldera (en porcentaje);

Eft = eficiencia de la turbina de vapor (en porcentaje);

Efg = eficiencia del generador (en porcentaje);

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

Actualmente los residuos agroindustriales se utilizan para sustituir combustibles fósiles en la cogeneración de calor y electricidad, como es el caso del bagazo de caña de azúcar utilizado en los ingenios. Por otra parte, las actividades de aprovechamiento forestal y de centros de transformación primario de la madera, son una fuente alternativa de biomasa para diversificar los combustibles en la matriz energética nacional.

### A. Biomasa forestal

De acuerdo con el Inventario Nacional Forestal de Costa Rica (REDD-CCAD-GIZ y SINAC, 2015), la superficie forestal del país supera los 4 millones de hectáreas, donde las coberturas de mayor importancia son de bosque maduro y de bosque secundario (64,5% de la superficie). El pasto con árboles representa un 31,5% de la superficie forestal, mientras que los bosques de palma, rodales de mangle y plantaciones forestales juntos ocupan una superficie forestal del 4%.

Los resultados del Censo Nacional de la Industria Forestal Primaria de 2011, elaborado por el MINAET y SINAC, sugieren que la industria del aserrío de Costa Rica se compone en un 68% de madera proveniente de plantaciones forestales, el 15% proviene de potreros, el 1% de bosques y el resto de otras coberturas. Entre las especies más importantes destacan la melina (22% del volumen total), el laurel (16%), la teca (11%), el cedro (6%), el ciprés (6%), el pochote (5%), el pino (4%), el eucalipto (3%) y el pilón (3%).

En el censo mencionado se calcula un consumo de 738.103 m<sup>3</sup> de madera en troza al año en todo el país, del que el 94% proviene de aserraderos y bloqueadoras. Los bosques son vulnerables a las plagas y a los incendios forestales que anualmente afectan a miles de

hectáreas. Estos fenómenos necesitan un control y manejo adecuado 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

Entre los subproductos del aprovechamiento y la industria forestal se consideraron dos categorías generales:

- i) subproductos de la extracción forestal, 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
- ii) subproductos de la industria maderera, que corresponden a los residuos que se generan principalmente en los aserraderos, principalmente aserrín, viruta, costeros, corteza, puntas y recortes.

El potencial técnico total de subproductos forestales alcanza los 6 PJ/año. De estos se estimó que aproximadamente el 35% corresponde a subproductos de la extracción forestal y el 65% a la industria de transformación de la madera (véase el cuadro IV.1). Sin embargo, para mejorar el análisis es preciso contar con datos de los subproductos de la extracción forestal, para lo que es necesario actualizar la información sobre los permisos otorgados y el volumen maderable aprovechado en todas las coberturas forestales, información con la que no se contaba cuando se realizó este estudio.

**Cuadro IV.1**

**Costa Rica: potencial energético de subproductos de la extracción forestal y la industria maderera**

| Tipo de recurso                        | Volumen de la producción forestal maderable o aserrada<br>(en millones de m <sup>3</sup> ) | Coefficiente de generación de residuos<br>(en porcentajes) | Disponibilidad de residuos<br>(en millones de tMS/año) | Equivalente en energía primaria<br>(en PJ/año) |
|--|--|--|--|--|
| Subproductos de la extracción forestal | 0,47   | 0,5  | 0,12   | 2,1  |
| Subproductos de la industria maderera  | 0,87   | 0,5  | 0,22   | 3,9  |
| Total                                  |  |  |  | 6,0  |

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de datos oficiales. Véase el capítulo III, sección D, subsección 1 del presente documento para más información.

Los recursos de la industria maderera tienen una dispersión espacial mucho menor que los provenientes de la extracción en bosques. Esta diferencia debe ser considerada al plantear opciones tecno-económicas de aprovechamiento energético y para evaluar las cadenas logísticas para el uso final del recurso.

Es importante destacar que la plataforma utilizada para este estudio (véase [en línea] [www.wegp.unam.mx/sicabioenergy](http://www.wegp.unam.mx/sicabioenergy)) cuenta con información geoespacial sobre los aserraderos de Costa Rica y, a modo de ejemplo, están geolocalizados algunos centros de transformación con sus respectivos residuos generados. La información existente podría mejorarse si se complementa con la distribución de todos los centros de transformación de la madera y sus respectivos subproductos generados o los centros de transformación con los volúmenes aserrados por año, las especies aserradas y los coeficientes de aserrío.

## b) Consumo actual

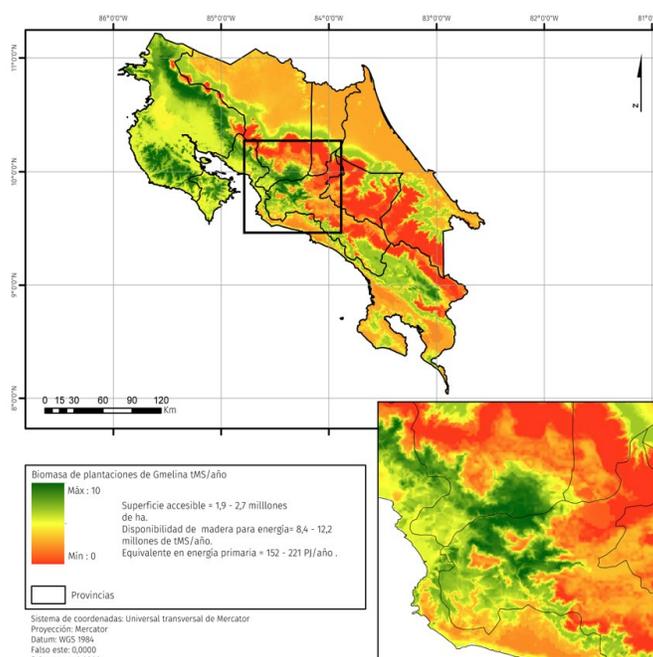
Según datos del Censo Nacional de la Industria Forestal Primaria de Costa Rica de 2011, elaborado por el MINAET, cerca del 50% de la leña que se produce del aserrío de trozas se regala, mientras que el resto se vende, se queda en el sitio o se reutiliza en hornos de secado. Lo mismo sucede con la viruta y el aserrín, donde el mayor porcentaje se vende o se regala para usos no energéticos.

## 2. Plantaciones forestales dedicadas

### a) Fuentes de producción

En el mapa IV.1 están representadas, a modo de ejemplo, las áreas con potencial teórico para el establecimiento de plantaciones de *Gmelina arborea*. En este caso, el área seleccionada no contempla ninguna restricción física de acceso al recurso, ni tampoco considera restricciones por uso de suelos. Se pueden ver tres categorías de productividades de acuerdo con los índices de aptitud del sitio (ver detalles en el capítulo III) que van desde 0 hasta 10 tMS/ha/año.

**Mapa IV.1**  
**Costa Rica: áreas con potencial para plantaciones de *Gmelina arborea* con fines energéticos**



Fuente: Elaboración propia.

Para la estimación del potencial de plantaciones energéticas se incluyeron solamente las áreas de vocación forestal con vegetación secundaria, considerando que no es recomendable establecer plantaciones donde existen actualmente bosques, selvas u otros usos productivos del suelo. Se consideran de interés general las plantaciones de las siguientes especies: *Acacia mangium*, *Gmelina arborea*, *Leucaena leucocephala*, *Tectona grandis* y *Eucalyptus*. La metodología se basa en la clasificación de áreas según su aptitud para la producción de madera para energía.

A partir de las superficies obtenidas de los mapas en la plataforma web (véase [en línea] [wegp.unam.mx/sicabioenergy](http://wegp.unam.mx/sicabioenergy)), se calcula la disponibilidad de madera para fines energéticos, obteniéndose un potencial teórico, 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 cuadro IV.2 se muestra la diferencia entre los distintos potenciales energéticos que se pueden obtener por medio de la plataforma web (véase [en línea] [wegp.unam.mx/sicabioenergy](http://wegp.unam.mx/sicabioenergy)). Para elaborar la tabla se tomó, a modo de ejemplo, la plantación de *Gmelina arborea*. Resultados similares se pueden obtener siguiendo los mismos pasos para las demás especies. Si se consideran restricciones tales como que las plantaciones no pueden ser establecidas en áreas naturales protegidas o en territorios indígenas, se obtiene un potencial de 221 PJ/año (véase segunda fila del cuadro IV.2). Al excluir las áreas naturales protegidas, territorios indígenas y las pendientes mayores a 10°, se obtiene el potencial mínimo mostrado en la última fila del cuadro IV.2. Considerando los mismos criterios de restricción, se pueden obtener los siguientes potenciales energéticos mínimos para diferentes especies, por ejemplo, acacia (204 PJ), eucalipto (284 PJ), *Leucaena* (114 PJ) y teca (107 PJ).

**Cuadro IV.2**  
**Costa Rica: potencial de producción de madera para energía a partir de plantaciones forestales**

| Potenciales         | Superficie<br>(en millones de<br>ha) | Disponibilidad de madera<br>para energía<br>(en millones de tMS/año) | Equivalente en<br>energía primaria<br>(en PJ/año) | Potencia eléctrica<br>instalada<br>(en GWe) |
|---------------------|--------------------------------------|--|---|---|
| Potencial<br>máximo | 2,7                                  | 12,2   | 221   | 1,6   |
| Potencial<br>mínimo | 1,9                                  | 8,4  | 152   | 0,9   |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los resultados se obtuvieron utilizando la opción "Usar límite nacional" en la herramienta de selección de área de oferta de la plataforma geoespacial (véase [en línea] [www.wegp.unam.mx/sicabioenergy](http://www.wegp.unam.mx/sicabioenergy)).

La disponibilidad de madera estimada en el cuadro IV.2 puede ser convertida en energía térmica o eléctrica. A modo de ejemplo, si consideramos el potencial mínimo (8,4 millones de tMS/año), se puede obtener una potencia eléctrica instalada de 0,9 GWe. Para llegar a este valor se consideró la transformación de la plantación en astillas, con un coeficiente de transformación del 90%. Para la conversión energética se utilizó una eficiencia de planta del 30%, conversión energética del recurso de 4,4 MWh/tMS, factor de planta del 70% y factor de disponibilidad del 90%.

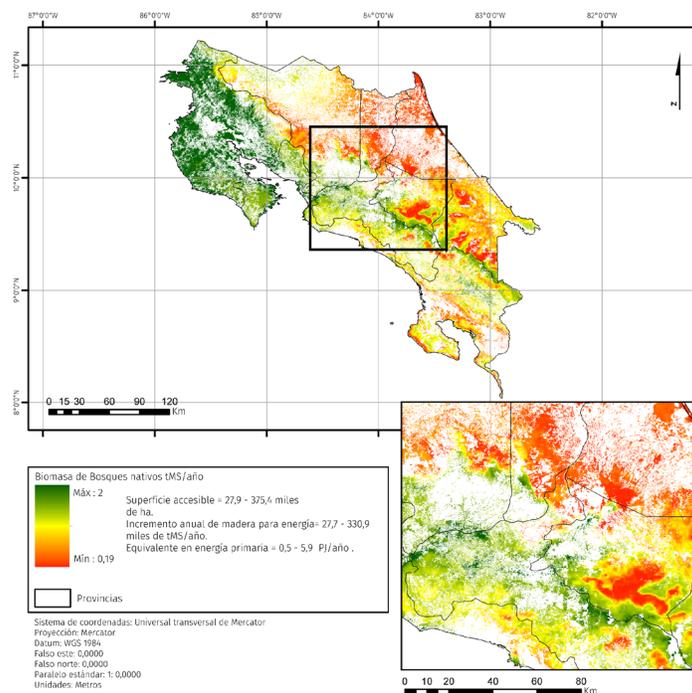
### 3. Aprovechamiento de bosques nativos

#### a) Fuentes de producción

En el mapa IV.2 se observa la distribución espacial de la accesibilidad de la biomasa aprovechable para energía proveniente de bosques nativos. Las fuentes de recursos incluyen a la biomasa leñosa (viva o muerta), que es directamente extraída de árboles y arbustos que crecen en bosques naturales y otras coberturas leñosas (por ejemplo, matorrales). Se deben excluir 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 el factor de uso energético (fue = biomasa apta solamente para energía / biomasa leñosa total). Este factor depende de las condiciones regionales de cada capa de vegetación analizada. Se supone el uso energético de los bosques como complemento y no como uso exclusivo.

Mapa IV.2

### Costa Rica: distribución espacial de la accesibilidad de la biomasa aprovechable para energía proveniente de bosques nativos



Fuente: Elaboración propia.

Existe un potencial muy importante en los bosques naturales que podría ser aprovechado con fines energéticos. En el cuadro IV.3 se puede apreciar el potencial técnico para los diferentes tipos de vegetación. Se presentan un valor máximo y un valor mínimo de superficie para cada tipo de vegetación, que se obtienen al seleccionar en la plataforma web (véase [en línea] [wegp.unam.mx/sicabioenergy](http://wegp.unam.mx/sicabioenergy)) los criterios de accesibilidad. Por ejemplo, al excluir las áreas naturales protegidas y los territorios indígenas y al seleccionarse las opciones de accesibilidad mínima o máxima, se obtienen superficies entre 27.900 y 375.400 hectáreas, que si son multiplicadas por la productividad de cada sitio resulta en un potencial técnico que varía entre 0,5 y 5,9 PJ/año. El mismo procedimiento se puede aplicar para las demás capas de vegetación.

Cuadro IV.3

### Costa Rica: potencial técnico de biomasa proveniente de bosques naturales

| Tipo de cobertura forestal | Superficie accesible (en miles de ha) | Incremento anual de madera para energía (en miles tMS/año) | Equivalente en energía primaria (en PJ/año) | Ejemplo: potencia eléctrica instalada máxima (en MWe) |
|----------------------------|---------------------------------------|--|---|---|
| Bosque maduro              | 89,9–374,5                            | 75,4 a 311,4   | 1,3 a 5,6                                   | 67  |
| Bosque decíduo             | 27,9–90,1                             | 27,7 a 89,4  | 0,5 a 1,6                                   | 19  |
| Bosque secundario          | 129,8–375,4                           | 114,7 a 330,9  | 2,1 a 5,9                                   | 71  |
|                            |                                       | Total  | 3,9–13,1                                    | 157   |

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 máximas para cada vegetación y la producción de madera, se puede calcular la potencia eléctrica instalada máxima, dando como resultado 157 MWe. Para llegar a este valor se consideró la transformación de los recursos en astillas, con un contenido de humedad del 10%, y un coeficiente de transformación del 90%. Para la conversión energética se utilizó una eficiencia de planta del 30%, una conversión energética del recurso de 4,4 MWh/tMS, un factor de planta del 70% y un factor de disponibilidad del 90%.

#### **b) Consumo actual**

Es importante para el país aprovechar 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. La biomasa proveniente de los bosques nativos se utiliza principalmente para la obtención de leña. La mayor parte del consumo energético de la leña se lleva a cabo en las zonas rurales de Costa Rica y representa menos del 5% del consumo energético final del país.

### **B. Biomasa de residuos agropecuarios**

Si bien en este reporte no fue posible realizar una evaluación de los residuos agropecuarios debido a la falta de información, un importante porcentaje de residuos agroindustriales en Costa Rica se utilizan para cogeneración o bien para generar electricidad, principalmente el bagazo de caña de azúcar. En el futuro sería importante evaluar el potencial de producción de biogás por medio de residuos del sector pecuario, que podría ser utilizado para generar electricidad para autoconsumo.

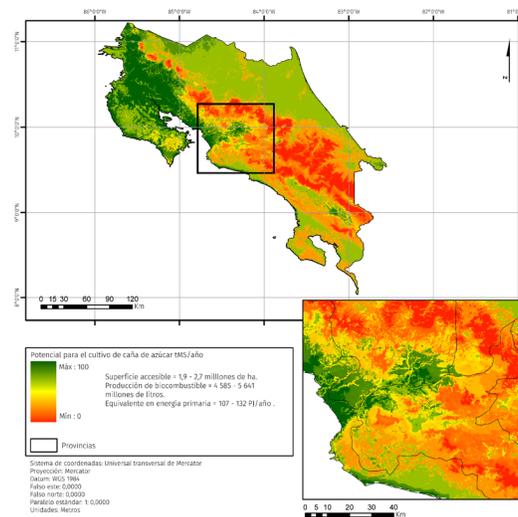
### **C. Cultivos dedicados**

#### **a) Fuente**

La caña de azúcar es uno de los principales cultivos de Costa Rica. El bioetanol puede ser un subproducto de la industria del azúcar, por lo que es importante evaluar la existencia de tierras disponibles que podrían ser aptas para incrementar de manera ordenada el cultivo de la caña. De esta forma se puede estimar el potencial sustentable de producción de bioetanol, que podría dar valor agregado a la industria azucarera y podría diversificar las opciones de producción. Como se muestra en el mapa IV.3, las tierras más aptas para incrementar el cultivo de caña de azúcar se encuentran en la región noroeste del país.

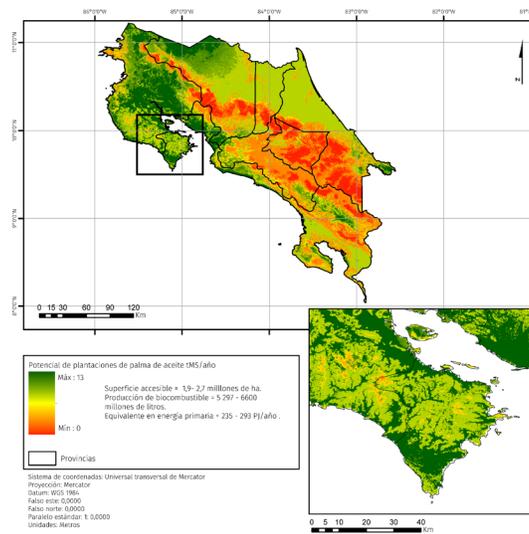
Se propone el cultivo de palma de aceite o palma africana para la producción de biodiésel. Al respecto, es necesario analizar tierras potenciales disponibles que permitan aumentar la producción de la palma, como se muestra en el mapa IV.4. Se estimó el potencial de producción de etanol y biodiésel por medio de plantaciones dedicadas de caña de azúcar y de palma de aceite, respectivamente. Al igual que en el sector forestal, se consideraron tres clases de productividad de los cultivos de acuerdo con la aptitud del terreno.

**Mapa IV.3**  
**Costa Rica: área potencial para el cultivo de caña de azúcar**



Fuente: Elaboración propia.

**Mapa IV.4**  
**Costa Rica: área potencial para el cultivo de palma de aceite**



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro IV.4 se resumen los potenciales de cada cultivo según las productividades, que varían de acuerdo con el índice de aptitud del terreno y los criterios de accesibilidad. La caña de azúcar tiene el potencial de producir 132 PJ/año, cuando se excluyen las áreas naturales protegidas y los territorios indígenas. En el caso en el que además se incluye la restricción de los terrenos con pendientes mayores a 10°, se podrían producir 4.585 millones de litros de etanol, con un equivalente energético igual a 107 PJ/año.

**Cuadro IV.4**  
**Costa Rica: potencial teórico y técnico para la producción de etanol y biodiésel**

| Cultivo         | Superficie accesible | Superficie potencial (en millones ha) | Rendimiento promedio del cultivo según aptitud (en t/ha) | Producción cultivo (en millones t/año) | Producción de biocombustible (en millones litros) | Equivalente energético (en PJ/año) |
|-----------------|----------------------|---------------------------------------|--|--|---|------------------------------------|
| Etanol          |                      |                                       |  |  |   |                                    |
| Caña de azúcar  | Máxima               | 2,7                                   | 58,6   | 161                                    | 5 641 <sup>a</sup>                                | 132                                |
|                 | Mínima               | 1,9                                   | 67,1   | 131                                    | 4 585 <sup>a</sup>                                | 107                                |
| Biodiésel       |                      |                                       |  |  |   |                                    |
| Palma de aceite | Máxima               | 2,7                                   | 8,0  | 22                                     | 6 600   | 293                                |
|                 | Mínima               | 1,9                                   | 9,0  | 17                                     | 5 297   | 235                                |

Fuente: Elaboración propia.

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

En lo que respecta al cultivo de palma de aceite, al excluir las áreas naturales protegidas y los territorios indígenas se obtiene una producción de 6.600 millones de litros de biodiésel, equivalentes a 293 PJ, mientras que si además se excluyen los terrenos con pendientes mayores a 10°, se podrían producir aproximadamente 5.297 millones de litros de biodiésel, equivalentes a 235 PJ (véase el cuadro IV.4).

## Capítulo V

# Oferta potencial de biomasa y demanda actual en diversas actividades

### A. Oferta potencial de biomasa

Costa Rica cuenta con un importante potencial técnico de recursos biomásicos que se podrían aprovechar con fines energéticos para ampliar la participación de la bioenergía en la matriz energética nacional. El potencial mínimo de 165 PJ/año (véase el cuadro V.1) es más de 6 veces la demanda actual de biomasa en el país (véase el cuadro V.2).

El mayor potencial proviene de los cultivos energéticos dedicados (palma de aceite y caña de azúcar), sin embargo, es importante aclarar que se trata de un potencial teórico, esto es, no existente en la actualidad. Además, este potencial no contempla aspectos económicos de producción y solo considera aspectos básicos de sustentabilidad.

La madera proveniente de bosques nativos es una importante fuente de energía que podría ser aprovechada mediante planes sustentables de manejo forestal. El potencial de la industria de la madera, a pesar de generar la menor oferta, tiene las mejores condiciones físicas para su uso inmediato. Sería necesario explorar opciones tecno-económicas (pellets o astillas) para su uso eficiente en los diferentes sectores económicos del país.

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

| Recurso   | Residuo/producto generado                    | Potencial energético (en PJ/año) |
|---|--|----------------------------------|
| Sector forestal   |  |                                  |
| Subproducto de extracción y de la industria de transformación | Puntas, ramas, recortes, aserrín, costaneros | 0 – 6                            |
| Plantaciones dedicadas ( <i>Gmelina</i> )                     | Leña   | 152 – 221                        |
| Bosques nativos   | Leña   | 4 – 13                           |
| Cultivos dedicados  |  |                                  |
| Caña azúcar   | Etanol                                       | 107 – 132                        |
| Palma de aceite   | Biodiésel                                    | 235 – 293                        |
| <b>Total</b>  |  | <b>498 – 665</b>                 |

Fuente: Elaboración propia.

**B. Demanda actual de biomasa en diversas actividades**

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 diferentes ramos industriales. El análisis que se realizó del potencial energético de los recursos biomásicos en este documento se concentra en la oferta y demanda para usos productivos de mediana y gran escala, los cuales permitirían diversificar las fuentes de energía. Los principales recursos biomásicos utilizados como biocombustibles son la leña y la caña de azúcar.

En el caso del primero, se utiliza principalmente para cocción de alimentos en fogones y estufas tradicionales en hogares y pequeños negocios de comida. En el caso del segundo, es utilizado en la cogeneración y en la generación de electricidad en ingenios azucareros, principalmente para autoconsumo. En el cuadro V.2 se presenta la demanda actual de los principales recursos biomásicos, de acuerdo con los resultados del documento Actualización de la encuesta de biomasa como insumo para su incorporación en la matriz energética de Costa Rica (Chacón y otros, 2018).

**Cuadro V.2****Costa Rica: uso energético de la biomasa por actividad, 2018**

| Actividad      | Uso energético (en TJ/año) | Uso energético (en PJ/año) | Equivalente en biomasa (en miles tMS/año) |
|----------------|----------------------------|----------------------------|---|
| Oferta de leña | 11 053                     | 11,1                       | 611                                       |
| Caña de azúcar | 9 766                      | 9,8                        | 544                                       |
| Aserraderos    | 2 743                      | 2,7                        | 150                                       |
| Palma africana | 1 969                      | 1,9                        | 127                                       |
| Café           | 1 329                      | 1,3                        | 87  |
| <b>Total</b>   |                            | <b>26,8</b>                | <b>1 519</b>                              |

Fuente: Elaboración propia, sobre la base 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](https://sepse.go.cr/documentos/Informe_Final_Actualizacion_Encuesta_Biomasa_SEPSE_CRUSA_EMA_2018.pdf).

## Capítulo VI

# Conclusiones y reflexiones finales

El consumo final de energía de Costa Rica ascendió a 3,63 millones de toneladas equivalentes de petróleo en 2020 (sieLAC-OLADE, 2022), esto es, unos 152 PJ, por lo que el potencial energético de la biomasa obtenido en este estudio (entre 498 PJ y 665 PJ/año) podría cubrir la demanda de energía total del país. En el caso que no se aprovecharan todos los recursos biomásicos disponibles para generar energía, aun así, podría cubrirse una buena parte de la demanda energética de Costa Rica. A continuación, se analizan los resultados obtenidos de acuerdo con el tipo de recurso biomásico considerado en este estudio.

### A. Biomasa forestal

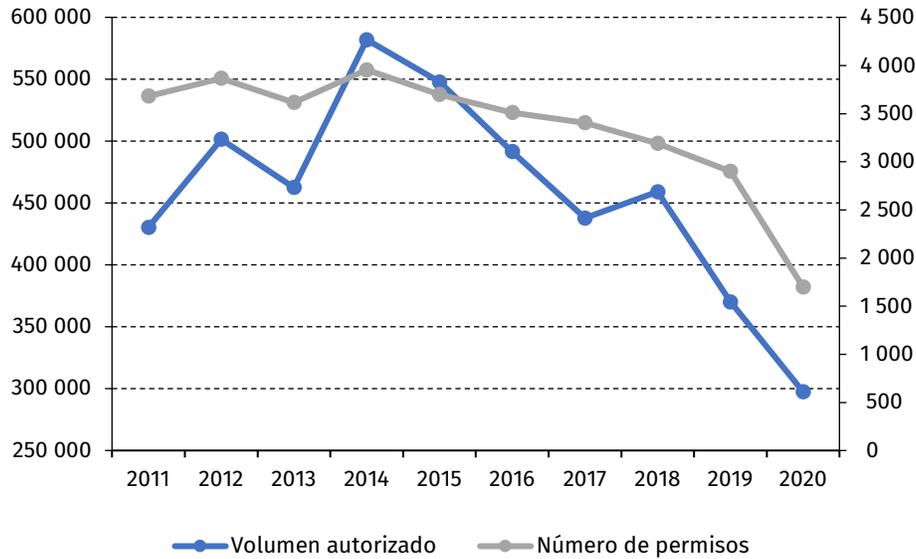
#### 1. Residuos forestales, de la industria forestal y aprovechamiento de plantaciones forestales

El potencial técnico más importante de Costa Rica es el correspondiente a los subproductos de la extracción forestal y la industria maderera. De acuerdo con los resultados de este estudio, la disponibilidad anual de subproductos de la extracción forestal sería de aproximadamente 120.000 tMS, mientras que en el caso de los subproductos de la industria maderera la disponibilidad ascendería a 220.000 tMS por año. En conjunto, su equivalente energético sería de 6 PJ por año.

Sin embargo, a pesar del potencial técnico que tienen los subproductos de la extracción forestal y la industria maderera es importante hacer notar que el volumen de aprovechamiento forestal autorizado (en m<sup>3</sup>) ha descendido en los últimos años (véase el gráfico VI.1), lo que puede implicar que el volumen disponible de subproductos de la extracción forestal y de la industria maderera podría tener una tendencia decreciente. El volumen autorizado para

aprovechamiento forestal pasó de 548.000 m<sup>3</sup> en 2015 a 297.000 m<sup>3</sup> en 2020, lo que es un reflejo del número de permisos otorgados, que pasó de 3,700 en 2015 a 1.700 en 2020.

**Gráfico VI.1**  
**Costa Rica: volumen autorizado (en m<sup>3</sup>) y número de permisos para aprovechamiento forestal, 2011-2020**



Fuente: Elaboración propia, sobre la base de "Sistema de Información de Recursos Forestales (SIREFOR)", "Estadísticas de aprovechamiento forestal en Costa Rica" 2020 [base de datos en línea] <https://www.sirefor.go.cr/Sirefor/estadisticas>.

Nota: en el eje vertical izquierdo se mide el volumen autorizado y en el eje vertical derecho se mide el número de permisos.

En este estudio se determinó que el potencial para la producción de madera con fines energéticos va de 107 PJ/año (en el caso de la teca) hasta 284 PJ/año (en el caso del eucalipto), dependiendo de la especie utilizada. En este caso el potencial está restringido por el volumen y número de permisos autorizados para el aprovechamiento de plantaciones forestales en Costa Rica, así como del uso que se le dé a la madera extraída, incluyendo otros usos productivos no energéticos y los fines no productivos como protección, conservación y restauración. Sin embargo, los valores estimados pueden dar una mejor idea de cuáles son las áreas más prominentes para establecer plantaciones para la producción de leña u otros biocombustibles sólidos procesados y, además, podrían contribuir al establecimiento de servicios ecosistémicos.

A pesar de que el potencial energético de las plantaciones forestales puede ser mayor al de los subproductos del sector forestal en este estudio, se trata de un potencial teórico-técnico que puede no desarrollarse, a diferencia del potencial técnico de los subproductos de la extracción forestal y de la industria maderera, que ya está disponible.

## 2. Aprovechamiento de bosques nativos

El consumo de leña de los hogares ha disminuido notablemente en Costa Rica pasando de 1,6 millones de m<sup>3</sup> en 2008 a 130.000 m<sup>3</sup> en 2020 (UN Data). Asimismo, el consumo energético final de leña pasó de 24,9 PJ en 2008 a 3,8 PJ en 2020 (sieLAC-OLADE). Al respecto, es posible asumir que el potencial técnico mínimo estimado de biomasa proveniente de bosques nativos de 3,9 PJ será suficiente para cubrir las necesidades de leña de los hogares costarricenses que aún dependen de este combustible para sus necesidades de cocción de alimentos. Si se logra racionalizar el uso de leña en los hogares mediante la utilización de estufas mejoradas, esto es, a través de estufas diseñadas para quemar la biomasa de manera más limpia y eficiente que las estufas tradicionales (Clifford, 2015), entonces incluso el nivel mínimo estimado de

biomasa proveniente de bosques naturales implicaría un excedente que podría tener usos productivos mediante la generación de calor en procesos industriales, la cogeneración y la generación de electricidad.

## B. Biomasa agropecuaria

En este estudio se estimó el potencial energético de dos cultivos dedicados, la caña de azúcar y la palma de aceite, para producir etanol y biodiésel, respectivamente. En lo que respecta a la caña de azúcar se estimó una producción mínima de 4.585 millones de litros de etanol (equivalentes a 107 PJ), mientras que para el caso de la palma de aceite se estimó un mínimo de 5.297 millones de litros de biodiésel (equivalentes a 235 PJ). Es importante mencionar que los cultivos energéticos mencionados, y los que se propongan en el futuro, deben ajustarse a políticas ambientales que aseguren la sustentabilidad a lo largo de sus ciclos de vida. Se debe evitar, además, la competencia de tierras con cultivos alimenticios y el cambio de uso de suelo desmedido.

En este estudio no se consideraron otros cultivos dedicados y residuos agropecuarios para la evaluación de su potencial energético debido a limitaciones de la información geoespacial o estadística. Además de la caña de azúcar y de la palma de aceite, existen otras fuentes y cultivos con un potencial interesante para la producción de biocombustibles en Costa Rica. Para la producción de biodiésel se han identificado los aceites usados de cocina (aceite vegetal), la higuera y la *Jatropha*, mientras que para la producción de etanol las principales fuentes identificadas incluyen al sorgo dulce, las microalgas y la lignocelulosa (García, 2013).

La evaluación espacial de las posibles fuentes para la elaboración de biocombustibles es de especial interés para el caso de Costa Rica, ya que, desde 1973, ha intentado introducir los biocombustibles, pero sin el éxito deseado (Lara, 2018). El impulso a los biocombustibles ha estado presente en los planes nacionales de desarrollo y los planes nacionales de energía desde 1973, incluso se elaboró un Programa Nacional de Biocombustibles en 2008 y se aprobó un Reglamento de biocombustibles (Decreto Ejecutivo N° 35091) (Dobles, 2018). En particular, Costa Rica pretende reducir el consumo de derivados de petróleo mediante la utilización de una mezcla de gasolina con etanol, lo que, si bien no eliminará completamente la dependencia de hidrocarburos importados, sí ayudará a disminuir la factura petrolera y contribuirá a reducir la contaminación.

Recientemente, a comienzos de 2020, la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) presentó un estudio de factibilidad del proyecto de mezcla de gasolina (RECOPE, 2020). En el estudio se analizaron las tasas de retorno y el impacto en el precio a los consumidores de mezclas con gasolina base (tipo RBOB, compuesto reformulado para mezcla de oxigenados) y gasolina terminada, así como la reducción promedio de los GEI utilizando maíz o caña de azúcar como cultivos para la fabricación del etanol que será mezclado con gasolina.

Además de los biocombustibles, también es necesario estudiar más a fondo los residuos biomásicos generados por las actividades agropecuarias y agroindustriales. De acuerdo con la actualización de la encuesta de biomasa de Costa Rica (Chacón y otros, 2018), cinco fuentes representan el 72% de la oferta energética bruta de biomasa: caña de azúcar (20%), producción de carne (17%), producción de leche (14%), leña (11%) y piña (10%). Asimismo, en dicha encuesta se encuentra que de la biomasa disponible que no va a mercados consolidados para su consumo o no es utilizada para autoconsumo (39% del potencial disponible), las principales fuentes son la caña de azúcar (27%), la piña (27%), el banano (14%), arroz (9%) y residuos domiciliarios (9%). Además de los residuos de la caña de azúcar y la leña, resulta de interés evaluar espacialmente

los residuos agrícolas de la piña, el banano y el arroz y los residuos de las industrias cárnica y de lácteos, por el importante potencial detectado en la mencionada encuesta.

### C. Otros residuos biomásicos sólidos

Los residuos pesqueros y acuícolas y los residuos sólidos urbanos no fueron analizados en este estudio por la falta de información geoespacial o estadística. Costa Rica realiza actividad pesquera tanto en la costa del océano Pacífico como en el mar Caribe, sin embargo, debido a la mucho menor extensión de la costa Atlántica y su menor zona económica exclusiva, las actividades pesqueras son más importantes en el litoral del Pacífico, con una zona económica exclusiva de casi 590.000 km<sup>2</sup> (FAO, 2004). Si a la actividad pesquera realizada en las áreas marítimas de Costa Rica se agregan la pesca realizada en ríos y lagos del interior del país y la actividad acuícola, se podría tener una importante fuente de residuos como órganos internos y otros desperdicios de pescado que pueden ser usados, por ejemplo, para la producción de biodiésel (FAO, 2019).

Asimismo, los residuos sólidos urbanos producidos en las ciudades costarricenses podrían ser utilizados para generar electricidad con el gas metano que resulta de la descomposición de biomasa en los vertederos. En términos generales, los residuos mencionados tienen un potencial energético que podría contribuir a diversificar la matriz energética de Costa Rica y al uso de recursos que pueden no tener otra utilidad, además de contribuir a una menor contaminación ambiental.

### D. Reflexiones finales

Para contribuir al objetivo de la carbono-neutralidad de Costa Rica, es importante que se sustituyan los hidrocarburos, que representan el principal energético del país. Si se consideran las equivalencias en términos de barriles equivalentes de petróleo y de GWh de las estimaciones realizadas en este estudio (véase el cuadro VI.1), incluso en el caso de que solo fuera viable una parte del mínimo estimado, se alcanza a cubrir una importante porción de las necesidades energéticas de Costa Rica, considerando que en 2020 el consumo final de energía del país fue de 152 PJ, la generación neta de electricidad fue de 11.355 GWh y el consumo de petróleo y sus derivados ascendió a 17,8 millones de barriles equivalentes de petróleo (bep).

**Cuadro VI.1**  
**Costa Rica: potencial energético de recursos biomásicos y equivalencias**  
(En barriles equivalentes de petróleo (bep) y GWh)

| Recurso  | Potencial energético<br>(En PJ/año) |        | Barriles equivalentes<br>de petróleo<br>(En miles de bep) |         | Equivalente<br>(En GWh) |        |
|--|-------------------------------------|--------|---|---------|-------------------------|--------|
|  | Mínimo                              | Máximo | Mínimo  | Máximo  | Mínimo                  | Máximo |
| Sector forestal  |                                     |        |   |         |                         |        |
| Subproducto de extracción<br>y de la industria de transformación | 0                                   | 6      | 0   | 1 034   | 0                       | 641    |
| Plantaciones dedicadas   | 152                                 | 221    | 26 182  | 38 067  | 16 226                  | 23 592 |
| Bosques nativos  | 4                                   | 13     | 689   | 2 239   | 427                     | 1 388  |
| Cultivos dedicados   |                                     |        |   |         |                         |        |
| Caña azúcar (etanol)   | 107                                 | 132    | 18 431  | 22 737  | 11 422                  | 14 091 |
| Palma de aceite (biodiésel)                                      | 235                                 | 293    | 40 479  | 50 469  | 25 086                  | 31 278 |
| Total  | 498                                 | 665    | 85 781  | 114 546 | 53 162                  | 70 989 |

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):

- i) 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.
- ii) 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).
- iii) 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.
- iv) El uso moderno de la biomasa como energético en lugar de hidrocarburos contribuye a disminuir las emisiones de contaminantes.
- v) 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.
- vi) 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 generación<sup>9</sup>.
- vii) 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.

---

<sup>9</sup> Para la producción de 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, 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):

- i) 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.
- ii) Usar tierras marginales y degradadas debe considerarse siempre que se quieran expandir las tierras para producir bioenergía.
- iii) 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.
- iv) 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 del presente documento, 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.

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 el agropecuario, forestal y medio ambiente.

## Bibliografía

- 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/>.
- Araya, J. (2020), “La biomasa potencia más negocios en Costa Rica”, *Mercados & Tendencias*, 27 de marzo [en línea] <https://revistamyt.com/porque-costa-rica-esta-interesado-en-la-biomasa/>.
- ARESEP (2011), “Modelo y estructura de costos de una planta de generación de electricidad con biomasa distinta del bagazo de caña y su fórmula de indexación”, *Resolución RJD-162-2011*, Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), San José, Costa Rica, 9 de noviembre [en línea] [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=71559](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=71559).
- \_\_\_\_\_(2010), “Metodología tarifaria según la estructura de costos típica de una planta modelo de generación de electricidad con bagazo de caña para la venta al Instituto Costarricense de Electricidad y su fórmula de indexación”, *Resolución RJD-004-2010*, Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP), San José, Costa Rica, 26 de abril [en línea] [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&param2=1&nValor1=1&nValor2=82943&nValor3=106282&strTipM=TC&lResultado=8&nValor4=1&strSelect=sel](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&param2=1&nValor1=1&nValor2=82943&nValor3=106282&strTipM=TC&lResultado=8&nValor4=1&strSelect=sel).
- Arias-Aguilar, D. y otros (2017), “Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los cultivos forestales lignocelulósicos en el contexto del mecanismo de desarrollo limpio”, Instituto Tecnológico de Costa Rica, San José [en línea] <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/9975>.
- Barrantes, A. y S. Ugalde (2020), “Usos y Aportes de la Madera en Costa Rica. Estadísticas 2019 & Precios 2020”, Oficina Nacional Forestal (ONF), San José, Costa Rica, septiembre [en línea] <https://onfcr.org/wp-content/uploads/Usos-y-Aportes-2019.pdf>.
- 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/>.

- 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](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](https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/WEB_CEPALSTAT/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e).
- \_\_\_\_\_(2022), *Centroamérica y la República Dominicana: estadísticas de hidrocarburos, 2020*, Ciudad de México [en línea] [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47630/4/S2200524\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47630/4/S2200524_es.pdf).
- \_\_\_\_\_(2021), *Estadísticas del subsector eléctrico de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), 2018 y avances a 2020*, Ciudad de México [en línea] [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47019/1/S2100398\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47019/1/S2100398_es.pdf).
- 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, Canada, [en línea] [https://energyeducation.ca/encyclopedia/Oil\\_formation](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*, Ciudad de México [en línea] [https://www.researchgate.net/publication/314142701\\_Evaluacion\\_del\\_potencial\\_de\\_la\\_biomasa\\_como\\_parte\\_de\\_la\\_matriz\\_energetica\\_de\\_Mexico](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] <https://biomassmagazine.com/articles/3575/biomass-power-improves-forest--health-benefits-the-environment>.
- Clifford, M. (2015), “Improved Cookstoves Assessment”, *Global Dimension in Engineering Education (GDEE)* (eds.), Case studies for developing globally responsible engineers, Barcelona [en línea] [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88905/GDEE\\_CaseStudies.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88905/GDEE_CaseStudies.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- 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](https://sepse.go.cr/documentos/Informe_Final_Actualizacion_Encuesta_Biomasa_SEPSE_CRUSA_EMA_2018.pdf).
- Chum, H., 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/>.
- Di Vita, G. y otros (2017), “A review of the role of vegetal ecosystems in CO<sub>2</sub> capture”, *Sustainability*, vol. 9, N° 10 [en línea] <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/10/1840>.
- Dobles, R. (2018), “Nuevo intento de introducir los biocombustibles en el país”, San José, *LaRepública.net*, 16 de julio [en línea] <https://www.larepublica.net/noticia/nuevo-intento-de-introducir-los-biocombustibles-en-el-pais>.
- EAP (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](https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1615/1/Bosques%20Energ%C3%A9ticos20130902_08530678.pdf).
- EESI (Environmental and Energy Study Institute) (2017), “Fact sheet. biogas: converting waste to energy”, Washington [en línea] <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-biogas-converting-waste-to-energy>.
- EIA (U.S. Energy Information Administration) (2018a), “Biomass explained” [en línea] [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=biomass\\_home](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](https://www.eia.gov/energyexplained/?page=biomass_waste_to_energy).

- Emanuelli, P. y otros (2015), “Inventario Nacional Forestal de Costa Rica 2014-2015. Resultados y Caracterización de los Recursos Forestales”, Programa de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal en Centroamérica y la República Dominicana (REDD/CCAD/GIZ) y Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC), San José [en línea] [https://www.researchgate.net/profile/Patricio-Emanuelli/publication/311922219\\_Inventario\\_Nacional\\_Forestal\\_de\\_Costa\\_Rica\\_2014-2015\\_Resultados\\_y\\_Caracterizacion\\_de\\_los\\_Recurso\\_Forestales/links/58628d4208ae8fce49098522/Inventario-Nacional-Forestal-de-Costa-Rica-2014-2015-Resultados-y-Caracterizacion-de-los-Recurso-Forestales.pdf?origin=publication\\_detail](https://www.researchgate.net/profile/Patricio-Emanuelli/publication/311922219_Inventario_Nacional_Forestal_de_Costa_Rica_2014-2015_Resultados_y_Caracterizacion_de_los_Recurso_Forestales/links/58628d4208ae8fce49098522/Inventario-Nacional-Forestal-de-Costa-Rica-2014-2015-Resultados-y-Caracterizacion-de-los-Recurso-Forestales.pdf?origin=publication_detail).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2022), FAOSTAT [base de datos en línea] <http://www.fao.org/faostat/>.
- \_\_\_\_\_(2019), “Aquatic biofuels” [en línea] <http://www.fao.org/bioenergy/aquaticbiofuels/knowledge/fish-waste/en/>.
- \_\_\_\_\_(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/>.
- \_\_\_\_\_(2004a), *Unified Bioenergy Terminology (UBET)* [en línea] <https://www.fao.org/3/j4504e/j4504e.pdf>.
- \_\_\_\_\_(2004b), “Costa Rica. Resumen Informativo sobre la Pesca por Países”, FAO, abril [en línea] [http://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/fcp/es/FL\\_CP\\_CR.pdf](http://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/fcp/es/FL_CP_CR.pdf).
- Fornaguera, I. (2015), “Generación eléctrica con biomasa carece de impulso para la venta”, *La Nación*, San José, 28 de marzo [en línea] <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/generacion-electrica-con-biomasa-carece-de-impulso-para-la-venta/DE4KRMU3VJADZPHHKAKJG3PVPA/story/>.
- García, A. (2013), “Estimación del potencial de producción de biocombustibles en Costa Rica a partir de cultivos energéticos, agroenergéticos y aceites usados, al 2021”, Proyecto final de graduación para optar por el título de Ingeniera Ambiental con el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica–Escuela de Química, agosto [en línea] [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3151/estimacion\\_potencial\\_produccion\\_biocombustibles.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3151/estimacion_potencial_produccion_biocombustibles.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- García, C. A. y O. Maser (2016), *Estado del arte de la bioenergía en México*, Red Temática de Bioenergía (RTB) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) [en línea] <https://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2020/12/6d95688b94fb96e56675c3ff6387225f-2.pdf>.
- Goldemberg, J. y S. Teixeira (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).
- Hall, J. P. (2003), “Sustainable production of woody biomass for energy”, documento presentado al *XII World Forestry Congress*, 2003, Québec City, Canada [en línea] [https://www.fao.org/3/xii/0077-A1.htm#P10\\_167](https://www.fao.org/3/xii/0077-A1.htm#P10_167).
- Hanania, J. y otros (2020), “Biomass”, *Energy Education*, Universidad de Calgary, Calgary [en línea] <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Biomass>.
- 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>.
- Hoornweg, D. y P. Bhada-Tata (2012), *What a Waste. A Global Review of Solid Waste Management*, Banco Mundial, Washington, D.C. [en línea] <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) (2010), *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: II. Biodiésel*, San José [en línea] <https://agriperfiles.agrid.net/display/n29521>.
- \_\_\_\_\_(2007), *Atlas de la agroenergía y los biocombustibles en las Américas: I. Etanol*, San José [en línea] <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00014.pdf>.

- Lara, J. (2018), “Por octava ocasión, Gobierno ofrece vender gasolina con etanol”, San José, *La Nación*, 12 de junio [en línea] <https://www.nacion.com/el-pais/servicios/por-octava-ocasion-gobierno-ofrece-vender/LIGHCXOZ2FCNBBZP7OSYKXWQJE/story/>.
- Larson, E. D., C. I. Marrison y R. H. Williams (1995), “CO<sub>2</sub> mitigation potential of biomass energy plantations in developing regions”, Centro de Estudios Ambientales y Energéticos de la Universidad de Princeton (PU/CEES), *Working Paper* N° 138 [en línea] [https://acee.princeton.edu/wp-content/uploads/2016/10/Larson\\_95\\_Mitigation\\_Biomass\\_Plantations.pdf](https://acee.princeton.edu/wp-content/uploads/2016/10/Larson_95_Mitigation_Biomass_Plantations.pdf).
- López, A. y Ó. Lumbreras (2007), “Biomasa y cultivos energéticos”, *Cuadernos de la Tierra*, Madrid, Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos (UPA) [en línea] [https://upa.es/\\_clt/lt\\_cuadernos\\_9/pag\\_032-035\\_mendiburu.pdf](https://upa.es/_clt/lt_cuadernos_9/pag_032-035_mendiburu.pdf).
- Mendes G. y otros (2018), “Sustainable bioenergy: Latin America and Africa. Policy Brief”, *Scope Bioenergy & Sustainability*, Amstelveen [en línea] <https://www.sei.org/publications/sustainable-bioenergy-latin-america-africa/>.
- MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía) (2017), “Informe Final. Hoja de ruta de tecnologías con base en residuos de biomasa para generación de energía térmica en el sector industrial en Costa Rica al 2030”, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)/Dirección Sectorial de Energía (DSE), financiado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) y ejecutado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Fundación Bariloche, Energía, Medio Ambiente y Desarrollo (EMA), Cámara de Industrias de Costa Rica (CICR) y Chirripó Consultores, septiembre, [en línea] <https://rise.esmap.org/data/files/library/costa-rica/Costa%20Rica%202030%20Technology%20Roadmap%20for%20Thermal%20Energy%20Generation%20from%20Waste%20Biomass%20in%20the%20Industrial%20Sector.pdf>.
- MINAE/PNUD (Ministerio de Ambiente y Energía/Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2015), *VII Plan Nacional de Energía 2015-2030*, San José [en línea] <https://minae.go.cr/recursos/2015/pdf/VII-PNE.pdf>.
- MINAET/SINAC (Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones/Sistema Nacional de Áreas de Conservación) (2011), *Censo Nacional de la Industria Forestal Primaria de Costa Rica y Gerencia de Manejo de Recursos Naturales*, San José, octubre [en línea] <https://www.sirefor.go.cr/pdfs/censodelaindustria.pdf>.
- Naciones Unidas (s/f), UN DATA [base de datos en línea] <http://data.un.org/>.
- \_\_\_\_\_(2021), “United Nations Global SDG Database (SDG Indicators)” [base de datos en línea] <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/database/>.
- OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) (2022), “Sistema de información energética de Latinoamérica y el Caribe” [en línea] <https://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>.
- Palomeque, L. C., M. A. Cárcamo y A. P. Galer (2016), “Bosques energéticos”, Chubut, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) [en línea] <https://inta.gob.ar/documentos/bosques-energeticos>.
- Piotto, D., (2007), “A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations”, *Forest Ecology and Management*, N° 255 [en línea] <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.065>.
- Rainforest Alliance (2016), “¿Qué es la silvicultura sostenible?” [en línea] <https://www.rainforest-alliance.org/es/perspectivas/que-es-la-silvicultura-sostenible/>.
- RECOPE (Refinadora Costarricense de Petróleo, S.A.) (2020), *Estudio de factibilidad del proyecto de mezcla de gasolina con etanol a nivel nacional*, Dirección de Planificación, Costa Rica, 30 de marzo [en línea] <https://www.recope.go.cr/wp-content/uploads/2020/02/ESTUDIO-FACTIBILIDAD.pdf>.
- 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](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/>.
- 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](http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/maina/index/assoc/Maina_19/81v4p012.dir/Maina_1981v4p012.pdf).
- sieLAC-OLADE (2022), Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe (SIELAC), Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Quito, Ecuador [base de datos en línea] <https://sielac.olade.org/>.
- SIREFOR (Sistema de Información de Recursos Forestales) (2020), "Estadísticas de aprovechamiento forestal en Costa Rica", San José [base de datos en línea] <https://www.sirefor.go.cr/Sirefor/estadisticas>.
- 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, Londres [en línea] <https://d2e1qxpsswcpgz.cloudfront.net/uploads/2020/03/energy-from-biomass-the-size-of-the-global-resource.pdf>.
- Torijano, E. (2022), *Centroamérica y la República Dominicana: estadísticas de hidrocarburos, 2020*, Ciudad de México, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [en línea] [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47630/4/S2200524\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47630/4/S2200524_es.pdf).
- 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" [en línea] <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-hydroelectric-power#toc-land-use>.
- UE (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*, L123/42 [en línea] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0030&from=EN>.
- Ulloa, A. y otros, 2018, "Análisis del mercado de biomasa forestal con fines energéticos en la zona de Guanacaste, Costa Rica", *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, septiembre, 15, Sup. 1, [en línea] <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/3722/3476>.
- Universidad de Bath (2016), "Urine turned into sustainable power source for electronic devices", *Science Daily* [en línea] [www.sciencedaily.com/releases/2016/04/160418095918.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2016/04/160418095918.htm).
- Wu, Y. y otros (2018), "Bioenergy production and environmental impacts", *Geoscience Letters*, N° 5, 24 May [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/>.

En este documento se presentan las estimaciones del potencial técnico de la energía que se puede obtener en Costa Rica a través de ciertos tipos de biomasa. Los potenciales se estimaron utilizando la plataforma geoespacial para evaluar el potencial energético de los recursos biomásicos de los países del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) ([www.wegp.unam.mx/sicabioenergy](http://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 algunos tipos de bioenergía constituyen una referencia para tomar decisiones informada sobre el uso de ciertos recursos biomásicos como fuente de energía en Costa Rica, con el fin de aumentar la participación de los recursos renovables en la matriz energética del país, en línea con la meta 2 del ODS 7 de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.