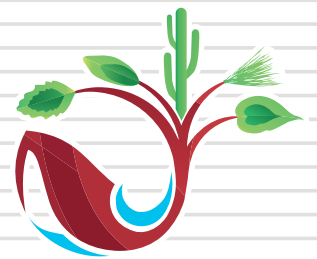


# MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL



**CONAFOR**

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL

COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



**MANUAL PARA LA ELABORACIÓN DE  
PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA  
A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL**

El presente manual fue elaborado con el propósito de dar a conocer a los interesados los requerimientos y condiciones generales que se deben considerar en el planteamiento de un proyecto de generación de energía eléctrica y térmica a partir del uso de biomasa forestal. Para ello, en este documento se describen los aspectos técnicos, económicos, ambientales, sociales y legales.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad del/ de los autor/autores y no necesariamente representan la opinión del Grupo de Trabajo Interinstitucional. Se autoriza la reproducción parcial o total, siempre y cuando sea sin fines de lucro y se cite la fuente de referencia.

## **Mensaje del Director General**

La Comisión Nacional Forestal tiene la misión de promover el desarrollo forestal sustentable impulsando políticas públicas orientadas a incrementar la producción y productividad proveniente de los ecosistemas forestales, con el objetivo de contribuir al crecimiento económico y al desarrollo de la población rural que habita las regiones forestales de México.

En este sentido la Comisión Nacional Forestal y la Secretaría de Energía, con la participación de importantes actores como la Comisión Reguladora de Energía y la Comisión Federal de Electricidad, formularon el Programa Nacional de Dendroenergía 2016 – 2018, con el objetivo de promover el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales para generar energía limpia y al mismo tiempo contribuir a la conservación e incremento de los bosques y selvas de México.

Con el Programa Nacional de Dendroenergía (PRONADEN) se busca impulsar la participación del sector forestal en el energético, abriendo una amplia oportunidad de desarrollo para los productores forestales que decidan producir energía limpia, utilizando la biomasa proveniente de los bosques manejados de forma sustentable.

Los objetivos y líneas de acción planteadas en el PRONADEN promueven e impulsan el desarrollo forestal sustentable, al mismo tiempo que contribuyen a cumplir con las metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía limpia.

Por lo tanto, el Programa Nacional de Dendroenergía constituye la base para que mediante el esfuerzo coordinado de las instituciones y la sociedad, se genere una nueva opción de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de México, en este caso para producir energía limpia en favor de un México Próspero.

**Ing. Jorge Rescala Pérez**

Director General de la Comisión Nacional Forestal

# CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>Introducción</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Antecedentes y condiciones marco</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>Biomasa forestal</b>	<b>16</b>
<b>4.</b>	<b>Concepto de suministro de energía.</b>	<b>27</b>
<b>5.</b>	<b>Análisis de factibilidad</b>	<b>37</b>
<b>6.</b>	<b>Operación y mantenimiento</b>	<b>43</b>
<b>7.</b>	<b>Resumen</b>	<b>44</b>
<b>8.</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>45</b>
	<b>Terminología</b>	<b>50</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>52</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Problemática en el aprovechamiento de la biomasa forestal.	<b>8</b>
Figura 2. Planteamiento para la promoción y fortalecimiento de la dendroenergía.	<b>9</b>
Figura 3. Densidad de la biomasa forestal.	<b>16</b>
Figura 4. Poder calorífico de la biomasa forestal.	<b>17</b>
Figura 5. Unidades de volumen para la madera.	<b>18</b>
Figura 6. Zonas potenciales de generación de biomasa forestal en México.	<b>20</b>
Figura 7. Industrias que demandan biomasa forestal.	<b>20</b>
Figura 8. Industrias que demandan biomasa forestal.	<b>21</b>
Figura 9. Esquema del proceso de vaporización.	<b>22</b>
Figura 10. Esquema de un proceso ORC.	<b>23</b>
Figura 11. Esquema de un proceso de gasificación.	<b>24</b>
Figura 12. Esquema del funcionamiento de un motor Stirling.	<b>25</b>
Figura 13. Modelos de operación de un sistema de generación a partir de biomasa forestal.	<b>28</b>
Figura 14. Modelos de negocio de un sistema de generación a partir de biomasa forestal.	<b>28</b>

Figura 15. Mapa de localización de los diferentes ejidos propuestos en este modelo demostrativo	<b>30</b>
Figura 16. Modelo conceptual del sistema de generación de energía.	<b>32</b>
Figura 17. Balance energético en el sistema de generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal.	<b>34</b>
Figura 18. Análisis de factibilidad escenario base.	<b>41</b>
Figura 19. Análisis de factibilidad escenario óptimo.	<b>42</b>
Figura 20. Organización de los bosques	<b>48</b>

## **Índice de tablas**

Tabla 1. Propiedades de la madera.	<b>16</b>
Tabla 2. Porcentaje de humedad de la biomasa forestal.	<b>16</b>
Tabla 3. Características de los diferentes tipos de biomasa forestal.	<b>18</b>
Tabla 4. Potencial de biomasa forestal por zonas.	<b>19</b>
Tabla 5. Comparación de tecnologías en la generación de energía con biomasa forestal.	<b>25</b>
Tabla 6. Información general, generación de energía con motor Stirling.	<b>26</b>
Tabla 7. Comparación del consumo de combustibles y los potenciales de biomasa forestal.	<b>34</b>
Tabla 8. Posibles aportaciones de los excedentes.	<b>35</b>
Tabla 9. Estimación de inversión para central de energía con biomasa forestal.	<b>37</b>
Tabla 10. Estimaciones de costos de operación.	<b>38</b>
Tabla 11. Ahorros e ingresos posibles.	<b>38</b>
Tabla 12. Parámetros y su influencia	<b>40</b>



# 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto fue financiado con recursos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés), y a su vez forma parte de las actividades alineadas al Marco de Cooperación de las Naciones Unidas para el Desarrollo 2014-2019 (UNDAF, por sus siglas en inglés), al Documento del Programa para México 2014-2018 (CPD, por sus siglas en inglés), y al Plan Estratégico del PNUD 2014-2017, y se llevó a cabo en coordinación y colaboración del Grupo de Trabajo Interinstitucional (GTI) para el desarrollo del Programa Nacional de Dendroenergía 2016-2018.

Para incrementar la producción y la productividad de los bosques así como el aprovechamiento de especies forestales que hasta ahora no tienen mercado, es importante fortalecer e impulsar la competitividad del sector forestal, especialmente en el uso de la biomasa forestal para la generación de energía.

El consumo de energía primaria en México se ha incrementado en los últimos 10 años en un 25% [15]. La biomasa forestal como fuente de energía renovable contribuye alrededor del 8% para satisfacer la demanda de energía primaria y se centra principalmente en el uso de la leña para uso doméstico y las pequeñas industrias. Sin embargo el uso energético de la biomasa forestal tiene varias ventajas en comparación con otras fuentes de energía renovables, como por ejemplo la energía solar o eólica, que respecto a la disponibilidad para su uso son fluctuantes, lo que genera inseguridad en el suministro de energía de un proceso, por el contrario, la generación de energía a partir de la biomasa forestal es controlable, continúa y segura.

En el sector forestal se genera una importante cantidad de biomasa forestal residual debido a las actividades de manejo de los bosques, extracción e industrialización. Se han realizado estudios sobre el uso de los residuos forestales en la producción de bioenergía, cuyos resultados obtenidos indican que en México se generan alrededor de 700,000 tMS de residuos forestales de los cuales el 85% corresponde a pino y el 15% a encino. Dicha biomasa forestal representa un potencial energético de 12,600 TJ equivalente a 3,500 GWh/a. A partir de este potencial puede cubrir una demanda en el sector doméstico de 923 mil hogares en México. Este potencial energético se encuentra actualmente disponible para su aprovechamiento dendroenergético.

Los residuos que se generan en el aprovechamiento forestal sustentable y en la industria de la transformación de la madera son ideales para su uso como combustible para generar electricidad y calor. A partir de estos residuos se puede satisfacer la demanda de energía eléctrica en la industria forestal de manera parcial o totalmente sin efectos negativos en la actividad productiva del centro de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales (CAT), es decir, que la generación de energía eléctrica no implica el aumento en el abastecimiento actual del volumen forestal que tienen los CAT. Además del uso de la energía eléctrica, se generan beneficios económicos, así como la contribución a la mejora de calidad de vida de la población al generar empleos.



## 2. ANTECEDENTES Y CONDICIONES MARCO

### 2.1 Planteamiento del problema y objetivo

El aprovechamiento de la biomasa forestal sustentable para usos dendroenergéticos está planteado dentro de las políticas y condiciones establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND). La baja competitividad provocada por un manejo y aprovechamiento poco eficiente de los recursos forestales existentes, así como la ausencia de herramientas técnicas y tecnológicas en la generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal, son los principales factores que limitan la explotación del potencial de la biomasa forestal para la generación de energía eléctrica.

Por otro lado, dentro del marco jurídico aplicable al sector energético, existen pocos incentivos que promuevan el uso de la biomasa forestal como fuente renovable. Los subsidios para la utilización de la biomasa forestal, especialmente para el desarrollo de proyectos de energía a partir de biomasa forestal son escasos. Aunado a esto, la transmisión de conocimientos entre las instituciones de investigación y el gobierno es escasa.

En resumen, la generación de energía eléctrica a partir de la biomasa forestal actualmente tiene barreras en aspectos de regulación, financiamiento, difusión y de tecnología que limitan el desarrollo de la dendroenergía en México. Dentro de las principales barreras podemos encontrar las siguientes:

#### 2.1.1 Ausencia de un marco institucional que fomente el desarrollo de la dendroenergía

La falta de una política nacional para el aprovechamiento sustentable de biomasa forestal para generar energía, y la falta de planeación de programas nacionales que promuevan el desarrollo, la innovación y la transferencia de tecnología para el uso de la dendroenergía, provoca el sub- aprovechamiento del 26.04% del potencial de la biomasa forestal disponible en México.

La falta de vinculación entre las autoridades gubernamentales y las instituciones científicas provocan que los proyectos del aprovechamiento sustentable de la biomasa forestal se promuevan de manera ineficiente.

En la actualidad no existen Normas Oficiales Mexicanas adecuadas en forma de directrices que regulen el aprovechamiento de la biomasa forestal con fines dendroenergéticos, así como el uso de las tecnologías y sus procesos para la generación de energía. La fase de instalación y funcionamiento seguro de un sistema de generación a partir de biomasa forestal deberá garantizarse en la formulación de las adecuaciones al marco regulatorio.

#### 2.1.2 La falta de conocimiento sobre el uso energético de la biomasa forestal

El aprovechamiento y el uso de los recursos forestales están limitados por los requisitos legales y las restricciones técnicas y organizativas que existen en el sector forestal. La competencia por la tierra con la agricultura y la deficiente organización social de los propietarios de los terrenos forestales plantean las principales barreras a vencer en el desarrollo de la actividad forestal y dendroenergética.

#### 2.1.3 Poca incorporación de tecnología de generación de energía a partir de biomasa forestal

La ausencia de una vinculación efectiva entre gobiernos con instituciones de investigación e innovación tecnológica no permite asegurar la transferencia de tecnología y formación de recursos humanos, esto en consecuencia, limita el establecimiento y desarrollo de cadenas de valor para el aprovechamiento de la biomasa forestal como una fuente de energía renovable. La Figura 1 muestra la problemática en el aprovechamiento de la biomasa forestal.

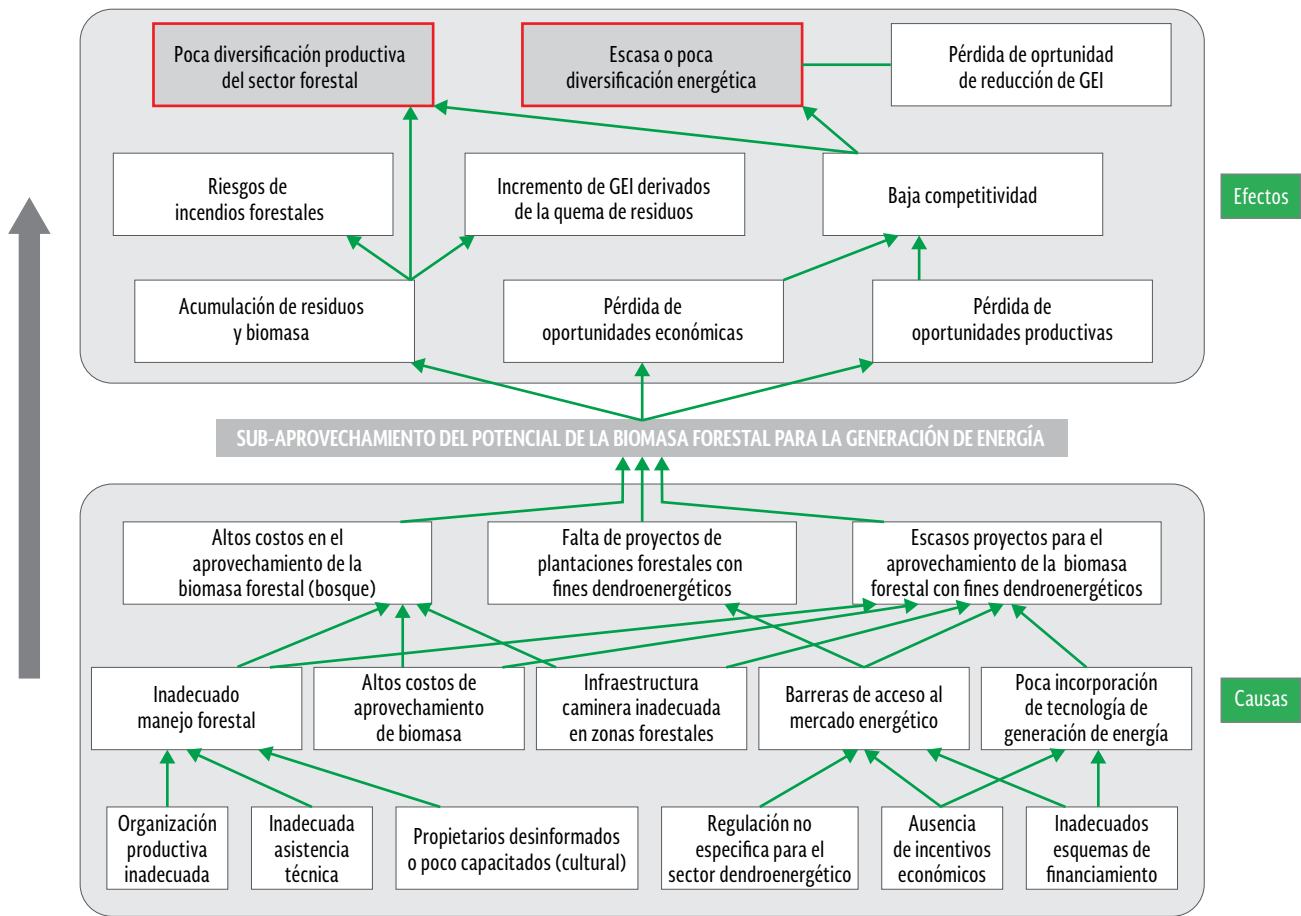


Figura 1: Problemática en el aprovechamiento de la biomasa forestal. Fuente CONAFOR.

De manera adicional la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) tiene dentro de sus objetivos la promoción y fortalecimiento de la dendroenergía en el contexto de la situación actual del sector forestal, a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad (ENAIPROS) que permita tener rendimientos más altos en el aprovechamiento de la madera y el desarrollo de la generación de energía eléctrica mediante la definición de mercados y sus posibles escenarios.

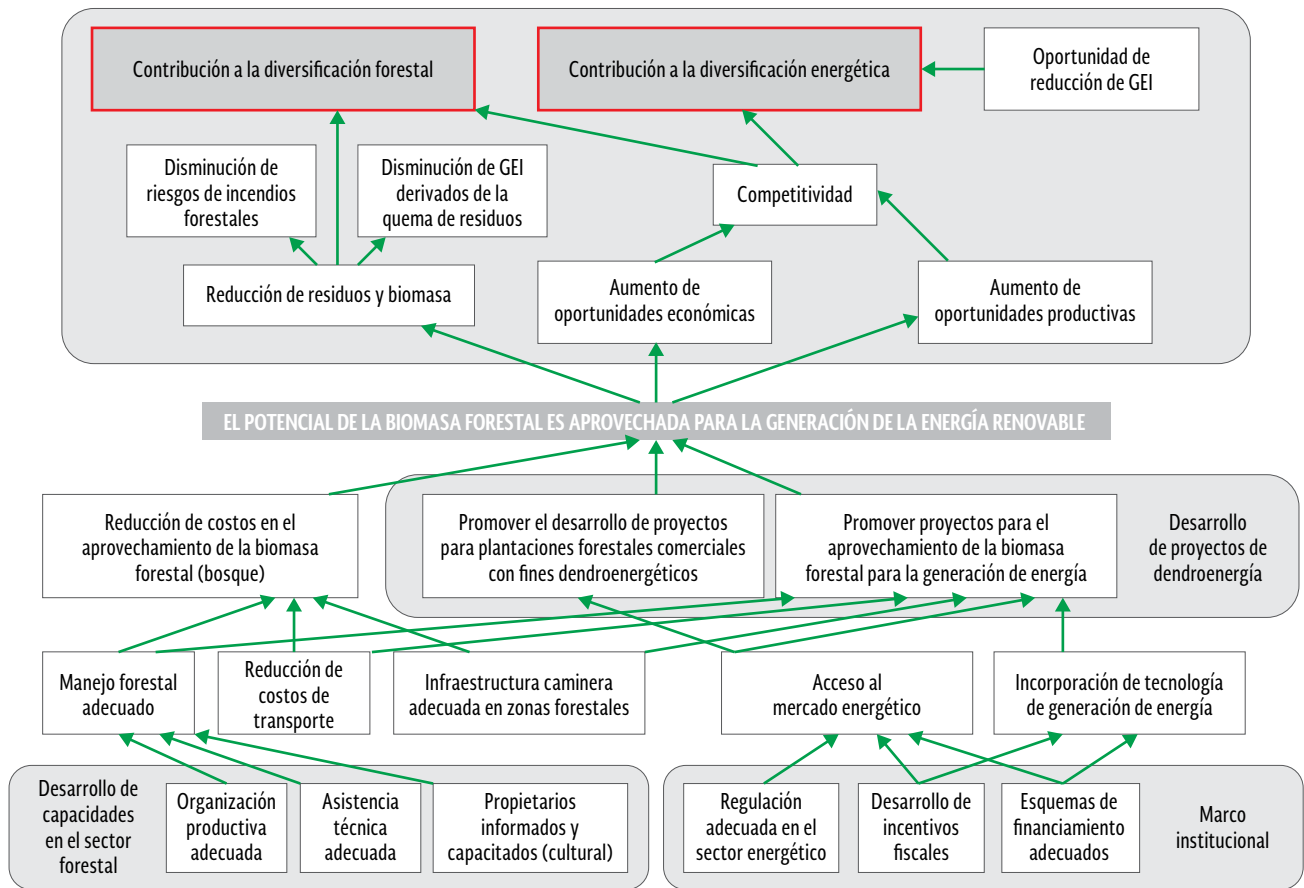


Figura 2: Planteamiento para la promoción y fortalecimiento de la dendroenergía. Fuente: CONAFOR.

Para llevar a cabo el aprovechamiento de la biomasa forestal como fuente renovable de generación de energía, es importante promover un marco institucional y normativo que facilite el desarrollo de proyectos de generación de energía limpia a partir de biomasa forestal, así como, desarrollar y fortalecer capacidades del sector forestal. La Figura 2 muestra el planteamiento para la promoción y fortalecimiento de la dendroenergía.

De igual manera, la contribución tanto a la diversificación productiva forestal como a la matriz energética, deberán plantearse de acuerdo a la normatividad vigente aplicable al aprovechamiento de la biomasa forestal, a la generación distribuida de energía limpia, así como a la interconexión al Sistema Eléctrico Nacional.

## 2.2 Situación del Sector Eléctrico Mexicano

En el año de 1992, la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica fue reformada, brindando una apertura parcial al sector eléctrico en actividades principalmente enfocadas a la generación de energía eléctrica, el cual, desde los años 40 del siglo pasado, no permitía la inversión privada. A partir de diciembre de 2013, con la reforma a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, se brinda una apertura completa a la inversión privada, con la llamada Reforma Energética, que implica diversos cambios en las actividades de la industria eléctrica como son: la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, la planeación, control y operación del Sistema Eléctrico Nacional, así como la creación del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM).

La Reforma Energética contribuirá, de manera paulatina, al desarrollo del sector energético, especialmente la industria eléctrica, promoviendo la integración de los sistemas de generación de energía eléctrica a partir de energías limpias, las cuales se definen en la Ley de la Industria Eléctrica como aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos, para lo cual, tendrá injerencia la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

En este sentido, y de acuerdo con lo establecido en la Ley de la Industria Eléctrica, podrán considerarse como energías limpias, aquellas que definan las autoridades competentes, con base en los parámetros que sean emitidos en razón de eficiencia y emisiones contaminantes.

Asimismo, con el fin de promover el uso óptimo y fomentar el desarrollo de capacidades técnicas vinculadas al aprovechamiento sustentable de la energía, la Secretaría de Energía publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF), el 28 de abril de 2014, el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, mismo que deberá ser soportado por la mejora en la investigación y la formación de personal especializado en la materia.

Dentro del marco jurídico aplicable previo a la Reforma Energética, ya se contaba con mecanismos que permitían incentivar el uso de la biomasa como fuente de energía renovable, sin embargo, dichos mecanismos no abundaban en los diferentes tipos de biomasa existentes y particularmente en la biomasa forestal.

## 2.3 Marco institucional aplicable a la generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal

El Sector Eléctrico Mexicano cuenta con diversos mecanismos que han hecho posible el aprovechamiento de la biomasa, sin embargo, resulta necesaria la vinculación efectiva entre los diversos actores y organismos con el objetivo de permitir el acceso a la tecnología, conocer la legislación aplicable y las actividades a desarrollar para promover el desarrollo de cadenas de valor en el aprovechamiento de la biomasa forestal como una fuente de energía limpia.

Entre las instituciones clave en el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica mediante el uso de biomasa forestal se encuentran las siguientes, para las cuales se identifican sus principales atribuciones o actividades:

- **Secretaría de Energía (SENER).** De acuerdo a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal tiene la facultad de establecer, conducir y coordinar la política energética del país, así como supervisar su cumplimiento con prioridad en la seguridad y diversificación energética, el ahorro de energía y la protección del medio ambiente.
- **Comisión Reguladora de Energía (CRE).** Órgano Regulador Coordinado en materia Energética, que fomenta el desarrollo eficiente de la industria, promueve la competencia en el sector, protege los intereses de los usuarios, propicia una adecuada cobertura nacional y atiende a la confiabilidad, estabilidad y seguridad en el suministro y la prestación de los servicios, además de las atribuciones establecidas en la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), conforme lo establecido en los artículos 41 y 42 de la Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética.
- **Centro Nacional del Control de la Energía (CENACE).** Organismo Público Descentralizado de la Administración Pública Federal, facultado para ejercer el Control Operativo del Sistema Eléctrico Nacional (SEN); operar el Mercado Eléctrico Mayorista; determinar la asignación y el despacho de las Centrales

Eléctricas y de la Demanda Controlable; llevar a cabo subastas para la celebración de Contratos de Cobertura Eléctrica entre los Generadores y los representantes de los Centros de Carga, entre otras facultades, de acuerdo a lo establecido en los artículos 107 y 108 de la LIE.

- **Comisión Federal de Electricidad (CFE).** Empresa Productiva del Estado de propiedad exclusiva del Gobierno Federal, que tiene por objeto prestar, en términos de la legislación aplicable, el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica, por cuenta y orden del Estado Mexicano.

Asimismo, dentro de su objeto público, lleva a cabo, entre otras actividades, la generación dividida en unidades y comercialización de energía eléctrica y productos asociados, el desarrollo y ejecución de proyectos de ingeniería, investigación y desarrollo tecnológico, de acuerdo con el artículo 5 de la Ley de la Comisión Federal de Electricidad.

- **Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).** De acuerdo con la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal está encargada, entre otros asuntos, de fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales y bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable.
- **Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).** Organismo Público Descentralizado de la Administración Pública Federal que tiene por objetivo desarrollar, impulsar y fortalecer las actividades productivas, de conservación y restauración en materia forestal, así como participar en la formulación de los planes y programas y en la aplicación de la política de desarrollo forestal sustentable y sus instrumentos.

## 2.4 Marco legal aplicable a la generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal

En el proceso legislativo derivado de la Reforma energética de 2013, se involucraron 21 leyes, de las cuales se expidieron 9 y se reformaron otras 12, de las que se destacan las que involucran directamente al sector eléctrico, a saber:

- **Ley de la Industria Eléctrica (LIE),** tiene por objeto regular la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica y las demás actividades de la industria eléctrica.
- **Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética (LORCME),** tiene por objeto regular la organización y funcionamiento de los órganos reguladores coordinados en materia energética y establecer sus competencias.
- **Ley de la Comisión Federal de Electricidad (LCFE),** tiene por objeto regular la organización, administración, funcionamiento, operación, control, evaluación y rendición de cuentas de la empresa productiva del Estado Comisión Federal de Electricidad.

Derivado de la expedición de las leyes antes mencionadas, el marco legal actual busca promover el desarrollo sustentable de la industria eléctrica y garantizar su operación continua, eficiente y segura, mediante el incremento de la confiabilidad, continuidad y calidad del Sistema Eléctrico Nacional.

Además de fomentar mayor participación de las energías limpias en la matriz energética nacional con el fin de alcanzar la meta del 35% de participación establecida en la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.

Además de las leyes derivadas de la Reforma Energética, existen otros ordenamientos jurídicos que rigen el desarrollo de los proyectos de generación de energía a partir del uso y aprovechamiento de biomasa forestal, los cuales son:

- **Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (LPDB)** tiene por objeto la promoción y desarrollo de los bioenergéticos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable como condiciones que permiten garantizar el apoyo al campo mexicano y establece las bases para promover la producción de insumos para bioenergéticos, a partir de las actividades agropecuarias,

forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos del campo mexicano, sin poner en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria del país de conformidad con lo establecido en el artículo 178 y 179 de la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, entre otras bases.

- **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)**, tiene por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para el aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas, entre otras.
- **Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LDFS)**, tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, así como distribuir las competencias que en materia forestal correspondan a la Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, con el fin de propiciar el desarrollo forestal sustentable. Cuando se trate de recursos forestales cuya propiedad corresponda a los pueblos y comunidades indígenas se observará lo dispuesto por el artículo 2 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- **Ley General de Cambio Climático (LGCC)**, tiene por objeto, entre otros aspectos, regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- **Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)**, tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovable y las energías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética

## **2.5 Desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la biomasa forestal en términos de la Ley de la Industria Eléctrica**

Este apartado presenta de manera general las modalidades de participación y los requisitos que deben cumplirse para iniciar proyectos de generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal.

### **2.5.1 Permiso de generación de energía**

Las centrales eléctricas con capacidad mayor o igual a 500 kW y las centrales eléctricas de cualquier tamaño representadas por un Generador en el Mercado Eléctrico Mayorista requieren de un permiso como Generador otorgado por la CRE para generar energía eléctrica en el territorio nacional. Para mayor información respecto a los trámites solicitud de Permiso de Generación de Energía Eléctrica puede consultar directamente la página electrónica de la Comisión Reguladora de Energía (<http://www.cre.gob.mx/>).

Las centrales eléctricas de cualquier capacidad que sean destinadas exclusivamente al uso propio en emergencias o interrupciones en el Suministro Eléctrico no requieren permiso.

Para el otorgamiento de dichos permisos, los interesados deberán presentar la solicitud correspondiente, la acreditación del pago de derechos o aprovechamientos en los términos que establezcan las disposiciones legales de la materia, la información relativa a su objeto social, capacidad legal, técnica y financiera, y la descripción del proyecto en los términos que establezca la CRE mediante disposiciones de carácter general.

En ningún caso el permiso de generación se tomará como criterio para la prelación de solicitudes de interconexión o conexión, o como requisito para solicitar la determinación de las características específicas de la infraestructura requerida.

## 2.5.2 Generación de energía limpia distribuida

Se consideran energías limpias aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan. Entre las energías limpias se consideran los bioenergéticos, como es la biomasa, establecidos en términos de la Ley de la Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

La generación distribuida se define en términos de la LIE, como la generación de energía eléctrica que se realiza por un Generador Exento (propietario o poseedor de una o varias centrales eléctricas que no requieren ni cuenten con un permiso para generar energía eléctrica en términos de la LIE), una Central Eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de distribución que contiene una alta concentración de Centros de Carga, en los términos de las Reglas del Mercado.

Es importante señalar que este tipo de generación cuenta con acceso abierto y no indebidamente discriminatorio a las Redes Generales de Distribución (RGD), así como el acceso a los mercados donde podrá vender su producción de energía eléctrica.

Los Generadores Exentos solo pueden vender su energía eléctrica y Productos Asociados (como los Certificados de Energías Limpias, entre otros), a través de un Suministrador que los represente en el Mercado Eléctrico Mayorista o dedicar su producción al abasto aislado. Para prestar el Suministro Eléctrico o representar a los Generadores Exentos, se requiere permiso de la CRE en modalidad de Suministrador.

Para estos casos, la CRE emitirá los modelos de contrato y metodologías de cálculo, criterios y bases para determinar y actualizar las contraprestaciones aplicables, que reflejarán el valor económico que produzca al Suministrador.

Las Centrales Eléctricas que destinen parte de su producción para fines de abasto aislado, podrán ser interconectadas a la Red Nacional de Transmisión (RNT) o a las Redes Generales de Distribución para la venta de excedentes y compra de faltantes que resulten de su operación en modalidad de Generador (ver punto siguiente) o Generador Exento, siempre y cuando se celebre el contrato de interconexión correspondiente y se sujeten a las Reglas del Mercado y demás disposiciones aplicables.

## 2.5.3 Interconexión de sistemas de generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal

Para la interconexión de las centrales eléctricas y la conexión de los centros de carga, las Reglas de Mercado establecerán criterios para que el CENACE defina las características específicas de la infraestructura requerida, mecanismos para establecer la prelación de solicitudes y procedimientos para llevar a cabo el análisis conjunto de las solicitudes que afecten una misma región del país.

Conforme a las obligaciones del CENACE marcadas en el artículo 33 de la LIE, el 2 de junio de 2015 fueron publicados en el DOF los Criterios mediante los que se establecen las características específicas de la infraestructura requerida para la Interconexión de Centrales Eléctricas y Conexión de Centros de Carga. Dichos criterios son aplicables para:

- Cualquier proyecto de Interconexión de Centrales Eléctricas, con capacidad de Generación Neta mayor o igual a 0.5 MW, que pretenda conectarse a la RNT o a las RGD.
- Incrementos de capacidad de Centrales Eléctricas por un monto mayor o igual al 10% de su capacidad original, siempre que la capacidad de Generación Neta total, incluido el incremento, sea igual o supere los 0.5 MW, incluyendo aquellos proyectos de repotenciación de unidades que integran una Central Eléctrica y que actualmente se encuentran interconectadas a la RNT o a las RGD. Si el incremento de capacidad es menor al 10% de la capacidad original, es factible solicitar el incremento de capacidad sin la necesidad de que se realicen los estudios correspondientes, pero ello sólo será factible una sola vez por Central Eléctrica.



- Cambiar o agregar un Punto de Interconexión para el caso de Centrales Eléctricas existentes, con capacidad de Generación Neta mayor o igual a 0.5 MW.

## **Interconexión de sistemas de generación distribuida**

Para el caso de solicitudes para la Interconexión de Centrales Eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW o que califiquen como Generación Distribuida, para conectarse a las RGD, los requisitos serán establecidos por la CRE en las Disposiciones administrativas de carácter general: *“Requerimientos de Interconexión para Generación Distribuida”*.

### **2.5.4 Productos asociados a la generación eléctrica: Certificados de Energías Limpias (CEL)**

Cabe hacer mención que la generación de energía eléctrica mediante el uso y aprovechamiento de biomasa forestal, es susceptible del otorgamiento de Certificados de Energía Limpia, entendidos por tales como el título emitido por la CRE, que acredita la producción de un monto determinado de energía eléctrica a partir de Energías Limpias y que sirve para cumplir los requisitos asociados al consumo de los Centros de Carga.

Los Suministradores, Usuarios Calificados Participantes del Mercado y los Usuarios Finales que reciban energía eléctrica por el abasto aislado, así como los titulares de los Contratos de Interconexión Legados que incluyan Centros de Carga o Puntos de Carga cuya energía eléctrica no provenga en su totalidad de una Central Eléctrica Limpia son Participantes Obligados, quienes estarán sujetos al cumplimiento de las obligaciones de Energías Limpias, debiendo acreditar el número de CEL´s que correspondan al consumo de energía eléctrica que representan, para cada periodo de obligación (período comprendido entre el 1 de enero y el 31 de diciembre de cada año).

La generación de energía eléctrica mediante energías limpias definidas en términos de la LIE, que cumplan con los lineamientos que establecen los criterios para el otorgamiento de CEL´s y los requisitos para su adquisición, publicados en el DOF el 31 de octubre de 2014, tendrán derecho a recibir un CEL por cada Megawatt-hora generado sin el uso de combustibles fósiles en las centrales eléctricas limpias que representen o, cuando utilizan combustibles fósiles, tendrán derecho a recibir un CEL por cada Megawatt-hora generado en las centrales eléctricas limpias que representan, multiplicado por el porcentaje de energía libre de combustible conforme a la metodología que para el efecto establezca la CRE.

## **2.6 Consideraciones para el establecimiento de proyectos dentroenergéticos**

### **2.6.1 Construcción de una planta de generación eléctrica**

Para proyectos de generación de energía eléctrica se deben revisar las Normas Oficiales Mexicanas: la NOM-001-SEDE-2012 referente a las instalaciones eléctricas y la NOM-020-STPS-2011, relativa a los recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas, funcionamiento y sus condiciones de seguridad.

Asimismo, se deben tomar en cuenta leyes y reglamentos de construcción, dependiendo del Estado donde se quiera establecer el proyecto.

Por su parte, Protección Civil verificará que se cumplan las medidas necesarias para garantizar la seguridad de la sociedad y Desarrollo Urbano comprobará que el giro sea adecuado al uso de suelo de la zona y que cumpla con la normatividad vigente.

### **2.6.2 Control de emisiones**

En materia de normatividad del aire, México cuenta con varios instrumentos jurídicos que permiten prevenir y controlar la contaminación atmosférica; entre ellos están:

- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- Reglamento en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica.
- Normas Oficiales Mexicanas sobre: fuentes fijas, fuentes móviles, calidad de combustibles, calidad del aire y monitoreo.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) es de aplicación nacional y establece las obligaciones de las autoridades del orden federal y local. La Ley en su título IV Protección al Ambiente, capítulos I y II establecen los artículos sobre prevención y control de la contaminación de la atmósfera. En ellos se hace referencia específica a los instrumentos de política, mecanismos y procedimientos necesarios para controlar, reducir o evitar la contaminación de la atmósfera.

El reglamento de la LGEEPA define los procedimientos técnico-administrativos a que están sujetas las fuentes emisoras de contaminantes de jurisdicción federal, como son por ejemplo las licencias de funcionamiento y la cédula de operación anual. Cabe mencionar que derivado de los cambios relativamente recientes a la LGEEPA, se inició la aplicación de nuevos mecanismos de regulación directa de las actividades industriales, de tal forma que se creó una Licencia Ambiental Única (LAU) y una Cédula de Operación Anual (COA), de carácter inmediato.

La SEMARNAT emite una serie de Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que regulan las emisiones de contaminantes provenientes de fuentes fijas y fuentes móviles; dichas normas están dirigidas a restringir a ciertos niveles las emisiones de óxidos de azufre, óxido de nitrógeno, partículas, compuestos orgánicos volátiles y monóxido de carbono. También establece la normatividad que regula la calidad de los combustibles y establece los requerimientos técnicos de los métodos empleados para medir los contaminantes más comunes en el aire.

### **2.6.3 Constitución de empresas mercantiles**

Principales leyes que regulan la constitución de sociedades mercantiles son: Ley General de Sociedades Mercantiles, Código de Comercio, Código Fiscal de la Federación, Código Civil Federal.

El número de trámites que se tienen que cubrir para conformar una sociedad mercantil va en función del tipo de negocio, del Estado y localidad donde se constituya, además del número de trámites específicamente establecidos para el registro de la propiedad.

Un Notario Público o Fedatario Público está facultado jurídicamente para establecer los estatutos sociales. Dentro de los otros trámites necesarios, se encuentran:

- Inscripción al Registro Federal de Contribuyentes.
- Inscripción en el Registro Público de Comercio.
- Solicitud de Licencias de Uso de Suelo, Edificación y Construcción ante el municipio correspondiente.
- Aviso de Declaración de Apertura o Licencia de Funcionamiento.
- Inscripción del Registro Empresarial ante el IMSS.
- Inscripción en el Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM) ante la Secretaría de Economía.
- Inscripción al Padrón de Importadores ante la Secretaría de Economía.

### **2.6.4 Estímulos fiscales**

Existen diversos mecanismos de apoyo al medio ambiente, de los cuales, los que tienen que ver con el aprovechamiento y fortalecimiento de las energías renovables en la matriz eléctrica de nuestro país, están contemplados en la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE).

En México los estímulos fiscales para energías renovables son relativamente mínimos a pesar de que existen diferentes leyes que manejan la importancia que tiene el uso de la energía renovable para el medio ambiente y actualmente sólo se encuentran en la Ley del Impuesto Sobre la Renta.

### 3. BIOMASA FORESTAL

#### 3.1 Consideraciones básicas

La composición fisicoquímica y el potencial energético de la biomasa forestal son aspectos importantes a considerar cuando se está evaluando su posible aprovechamiento como fuente de energía. Las principales propiedades que se evalúan son la densidad, la humedad y el poder calorífico. Las relaciones entre estas características se ilustran en la Tabla 1. Se hace una distinción de acuerdo a una clasificación entre la biomasa forestal proveniente del bosque y de la selva respectivamente.

PORCENTAJE DE HUMEDAD		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%
Densidad (kg/m <sup>3</sup> MS)	Bosque	450	500	563	643	750	900	1,125
	Selva	670	744	838	957	1,117	1,340	1,675
Poder calorífico (GJ/tMS) (MWh/tMS)	Bosque	18.91	16.78	14.64	12.51	10.37	8.24	6.10
		(5.25)	(4.66)	(4.07)	(3.48)	(2.88)	(2.29)	(1.69)
	Selva	18.07	16.02	13.97	11.92	9.87	7.82	5.76
		(5.02)	(4.45)	(3.88)	(3.31)	(2.74)	(2.17)	(1.60)

Tabla 1. Propiedades de la madera. Fuente: Trigenius.

El porcentaje de humedad en la biomasa forestal se presenta en la Tabla 2. Es importante destacar que el porcentaje de humedad es un factor determinante para el aprovechamiento energético de la biomasa, ya que a menor porcentaje de humedad se tiene una menor densidad en la madera y un mayor poder calorífico, estas relaciones se muestran en las Figuras 3 y 4.

	PORCENTAJE DE HUMEDAD
Bosque	>50
Aire libre	15/20
Secado en horno	<15
Secado absoluto (MS) (valor de cálculo)	0

Tabla 2. Porcentaje de humedad de la biomasa forestal. Fuente: Trigenius

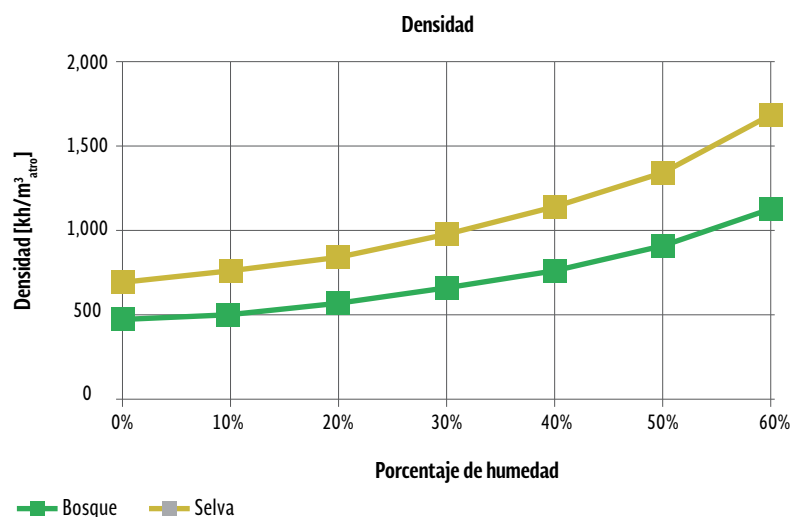


Figura 3. Densidad de la biomasa forestal. Fuente: Trigenius.

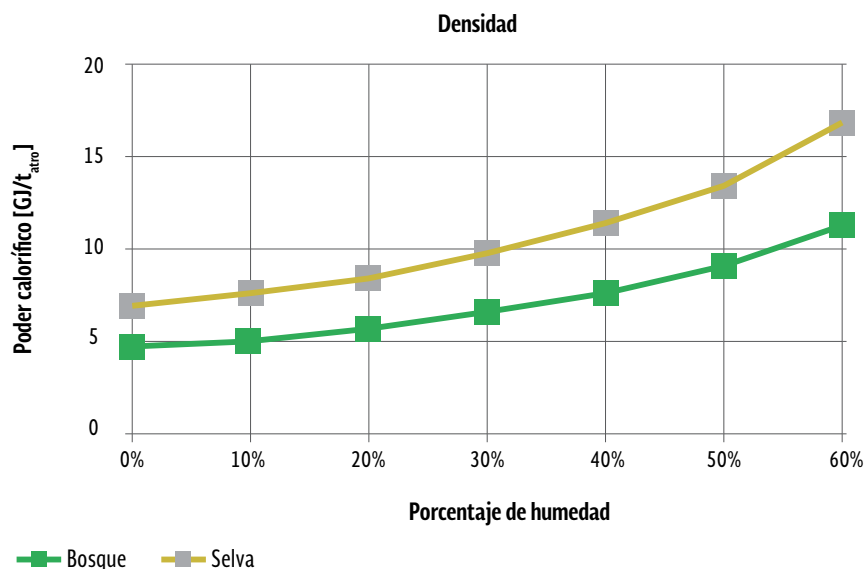


Figura 4. Poder calorífico de la biomasa forestal. Fuente: Trigenius.

Los principales ecosistemas forestales en México son los bosques y las selvas. Las principales especies que componen el Bosque son el pino y el encino, mientras que la selva está compuesta por diferentes especies caducifolias las cuales tienen diferentes tipos de maderas.

El brazuelo generado en el aprovechamiento forestal es generalmente dejado en la zona de explotación y es seccionado para que se incorpore al suelo y no genere acumulaciones combustibles. El volumen residual de los aprovechamientos en el bosque templado comparado con el volumen residual de los aprovechamientos en la selva es mucho menor, sin embargo, considerando que el género *Pinus* tiene la demanda principal en la producción y comercialización maderable, se tiene mucho más volumen de biomasa disponible de *Pinus* para aprovechar.

La conformación de los árboles tropicales es muy variable y su aprovechamiento comercial se ve afectado principalmente por los contrafuertes y gran número de ramificaciones que limitan la obtención de trozas aptas para escuadría.

Con base en lo anterior, es importante conocer los volúmenes equivalentes de la madera en rollo y de astilla respecto de la madera compacta, esto con el objetivo de estimar los volúmenes de biomasa disponible de acuerdo a sus características físicas (Figura 5).



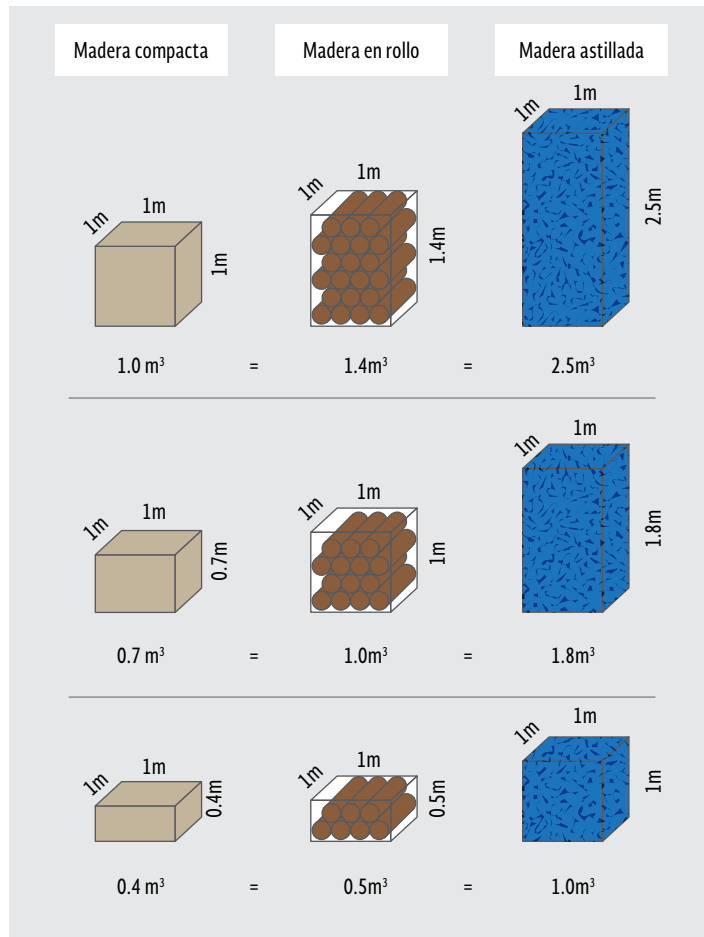


Figura 5. Unidades de volumen para la madera. Fuente: Trigenius.

### 3.2 Potencial residual de la biomasa forestal

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) realizó un estudio para conocer la densidad básica y el poder calorífico en especies de bosque templado y selvas. En donde se estimó que la densidad promedio para bosque templado es de 0.510 g/cm³ con un poder calorífico promedio de 18.91 GJ/t, y para las especies selvas la densidad promedio es de 0.657 g/cm³ con un poder calorífico promedio de 18.07 GJ/t (4). Los porcentajes generales de volúmenes disponibles que se generan tanto en campo como en la industria forestal para cada uno de los ecosistemas forestales se presentan en la Tabla 3.

Actualmente el aprovechamiento maderable se enfoca solamente en satisfacer la demanda de ciertas especies en el mercado, lo que genera una baja competitividad al no tener una diversificación y aprovechamiento integral de los productos forestales maderables. Sin embargo, para hacer una estimación de los ingresos que pueden generarse a partir del uso energético de la biomasa forestal, es importante conocer los métodos de extracción forestal y los consumos de madera en rollo en los aserraderos, a partir de estos datos podemos aplicar un coeficiente de biomasa total disponible de acuerdo al tipo de ecosistemas, y conocer el potencial residual de la biomasa forestal en un sitio.

	BOSQUE TEMPLADO	SELVA
<b>Coficiente total de biomasa disponible:</b>	44.1%	90.9%
<b>Densidad</b>	0.510 g/cm³MS	0.657 g/cm³MS
<b>Poder calorífico</b>	18.91 GJ/tMS	18.07 GJ/tMS

Tabla 3. Características de los diferentes tipos de biomasa forestal. Fuente: (4)

A partir de los coeficientes de la Tabla 3, se puede concluir que el volumen de biomasa forestal residual se puede considerar disponible para usos dendroenergéticos.

La suma de los residuos de coníferas y hojosas muestra una disponibilidad de 780,000 tMS/año equivalente a 14,000 TJ (3,900 GWh) para la generación de energía. Por lo tanto existe un gran potencial como fuente de energía renovable, sin considerar la superficie que no se encuentra bajo planes de manejo forestal. En 2013 el Inventario Nacional de las Energías Renovables reportó que se tiene un potencial de biomasa forestal apta para generar energía de 1,560,961 TJ (433,333 GWh).

Varios factores hacen que los residuos de madera constituyan una elección atractiva para los consumidores:

- Pueden ser generados y procesados localmente, lo cual aumenta la confiabilidad en el suministro y fortalece la economía local mientras disminuye los costos de transporte.
- Son producidos de fuentes renovables, con un balance neto de carbono igual a cero.
- Su utilización reduce los impactos ambientales y colabora en la reducción de riesgos de incendios, plagas y enfermedades, permitiendo la conservación de la biodiversidad.
- Usualmente son productos de desecho que pueden ser obtenidos sin costo de las instalaciones procesadoras y de operaciones forestales, que de otra manera exigirían su eliminación.

### 3.2.1 Zonas potenciales de generación de biomasa forestal en México

Con la finalidad de reactivar la producción y productividad forestal, la CONAFOR identificó que la producción forestal se concentra principalmente 13 Estados de la República Mexicana, los cuales concentran el 90% de la producción forestal del país.

Se tienen identificadas las zonas con alta, mediana y baja productividad forestal, con lo cual se puede visualizar las zonas potenciales que generan los mayores volúmenes de biomasa, con base en este criterio las zonas de Durango, Chihuahua, Oaxaca, Guerrero y Quintana Roo cuentan con la mayor productividad forestal en el país. A partir de la producción forestal es posible estimar el potencial residual de biomasa forestal y a su vez el potencial energético para cada una de las entidades antes mencionadas (Tabla 4).

ZONA	VOLUMEN DE RESIDUOS DE MADERA [m³/a]	MATERIA SECA [tMS/a]	POTENCIAL ENERGÉTICO [GWh/a]
Durango	477,129.331	244,649.044	1,290
Chihuahua	340,010.869	173,843.153	910
Oaxaca	80,215.537	40,964.228	220
Guerrero	30,095.745	15,348.83	80
Quintana Roo	7,729.64	5,078.374	30

Tabla 4: Potencial de biomasa forestal por zonas. Fuente: Trigenius

A partir de esta primera zonificación de la producción forestal, se han identificado las zonas de influencia regional dentro de los primeros 100 km de radio de abastecimiento. Sin embargo, la extracción y transporte de la biomasa forestal disponible está limitada en algunos casos por las características de la infraestructura de las vialidades (Figura 6).



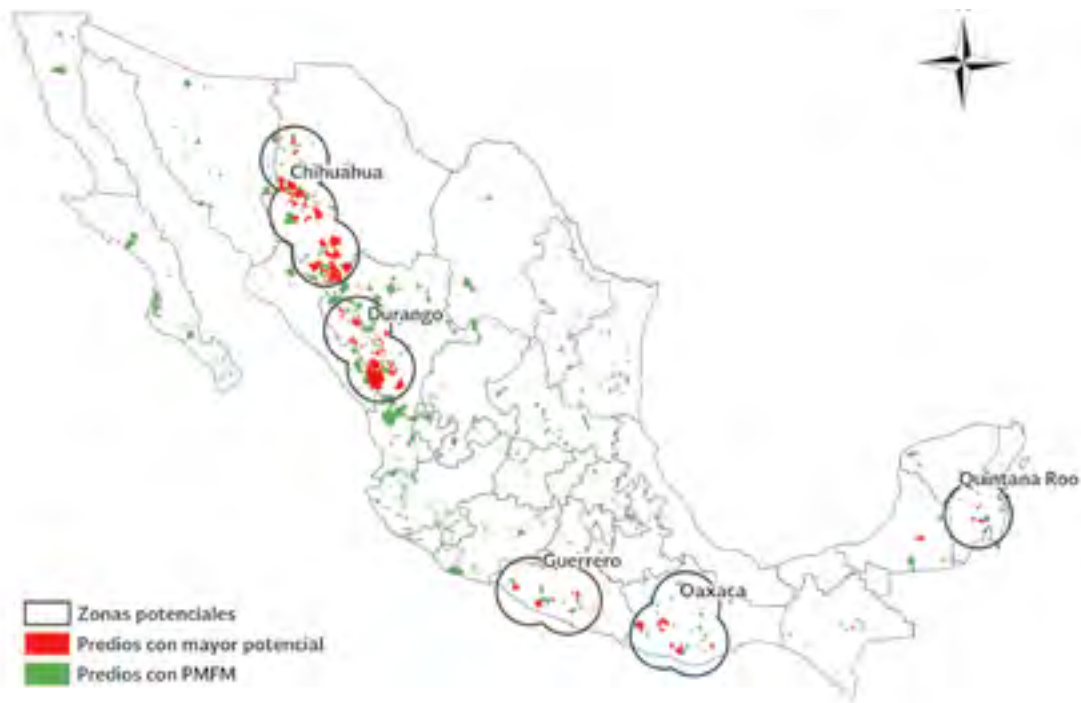


Figura 6. Zonas potenciales de generación de biomasa forestal en México. Fuente CONAFOR.

### 3.2.2 Potencial de biomasa forestal disponible en la industria de transformación.

La biomasa residual que procede de las industrias de las empresas forestales comunitarias son subproductos de la transformación, por ejemplo astillas y aserrín.

En México se han identificado industrias que tienen una demanda sobre la biomasa forestal como materia prima para la elaboración de triplay, tablero, aglomerado y celulosa. En la Figura 7 se muestra la ubicación de industrias que actualmente demandan biomasa forestal para elaborar sus productos.

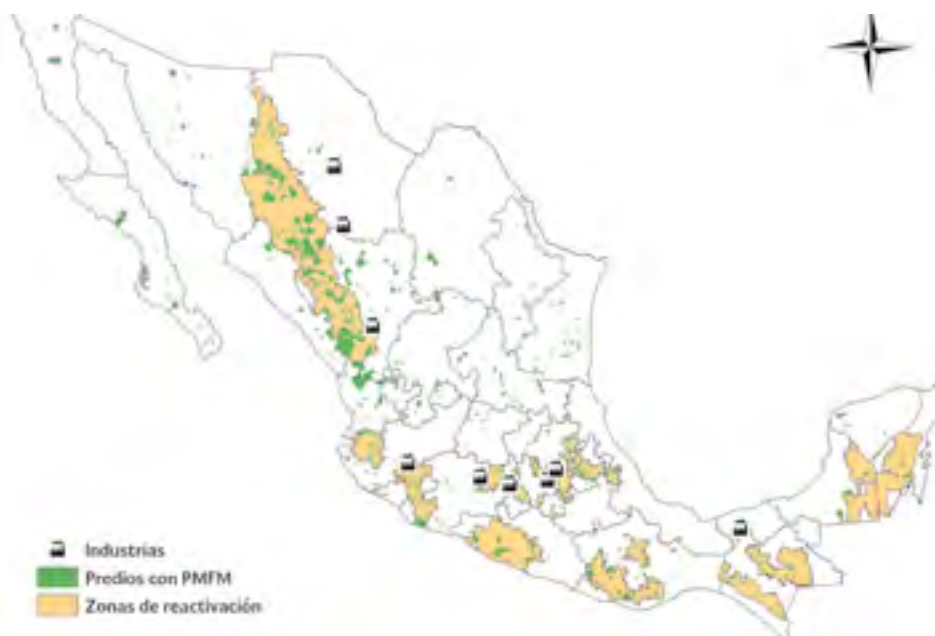


Figura 7. Industrias que demandan biomasa forestal. Fuente. CONAFOR.



### 3.3 Perspectiva general para la generación de energía a partir de biomasa forestal

En México el aprovechamiento energético de la biomasa forestal es a través de procesos de generación de energía calorífica por lo cual, su principal uso en el sector industrial es térmico.

Existen varios tipos de combustibles derivados de la madera, como el aserrín, astillas de madera, tiras, costeras, cortezas, pellets de madera, briquetas de madera y bio-aceites disponibles para ser utilizados en tecnologías de combustión o gasificación para producir electricidad o calor. El aserrín, las astillas de madera, tira, costeras y cortezas pueden alimentar a los quemadores con poca o ninguna modificación, mientras que los pellets de madera, las briquetas y los bio-aceites deben ser manufacturados. La Figura 8 ofrece una visión general de las diferentes opciones en la utilización de la biomasa forestal, así como para su uso en diferentes tecnologías de generación de energía eléctrica.

De manera general la tecnología utilizada para generar calor, electricidad, o una combinación de ambos a partir de biomasa forestal, se basa en someter la biomasa forestal a la acción de altas temperaturas. Las calderas de combustión son generalmente el tipo de tecnología que se utiliza para la generación de energía eléctrica y térmica. Existe también tecnología de gasificación que puede ser aplicable, sin embargo, la gasificación es un tipo de tecnología que aún está en desarrollo. Para rangos de menor potencia en la generación electricidad se pueden utilizar motores tipo "Stirling", los cuales ofrecen la oportunidad de explotar el calor, en pequeñas cantidades residuales y para el caso de pequeñas industrias, son relativamente fácil integrarse en los sistemas existentes. La operación básica de estos tipos de tecnologías se describe en las Figuras 11, 12 y 13.

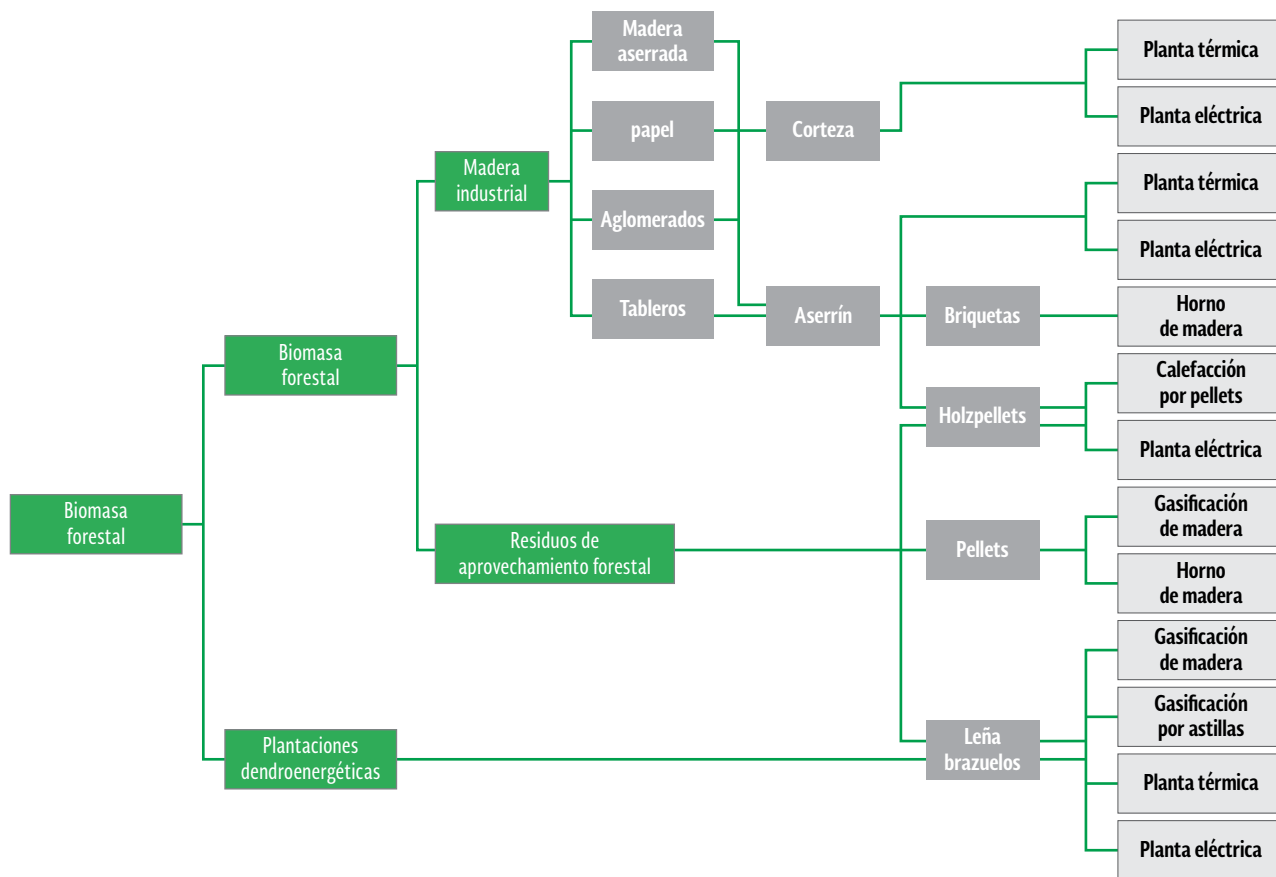


Figura 8. Industrias que demandan biomasa forestal. Fuente. CONAFOR.

### 3.3.1 Combustión

Existen dos principales sistemas convencionales de combustión a partir de biomasa forestal, las turbinas de vapor y las plantas ORC (Organic Rankine Cycle) las cuales tienen los mismos componentes básicos que los sistemas convencionales de combustión para la generación de energía a partir de combustibles fósiles, mismos que pueden ser sustituidos por biomasa forestal para generar calor.

Estos sistemas son similares, a excepción del fluido de trabajo que utilizan, la turbina de vapor utiliza agua y el sistema ORC utiliza un fluido orgánico de bajo punto de ebullición y elevado peso atómico. Mediante la quema de la biomasa forestal, el fluido de trabajo se evapora a alta presión para luego ser llevado a una turbina donde se expande para generar trabajo mecánico sobre su eje (este eje está unido a un generador eléctrico), la rotación de la turbina acciona un generador, que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. El vapor de baja presión que sale de la turbina se introduce en un condensador, equipo donde el vapor se condensa y cambia al estado líquido.

Posteriormente, una bomba se encarga de aumentar la presión del fluido en fase líquida para volver a introducirlo nuevamente en la caldera, cerrando de esta manera el ciclo como se muestra en la Figura 9. El calor de condensación se puede extraer y utilizarlo como calentamiento de otros procesos.

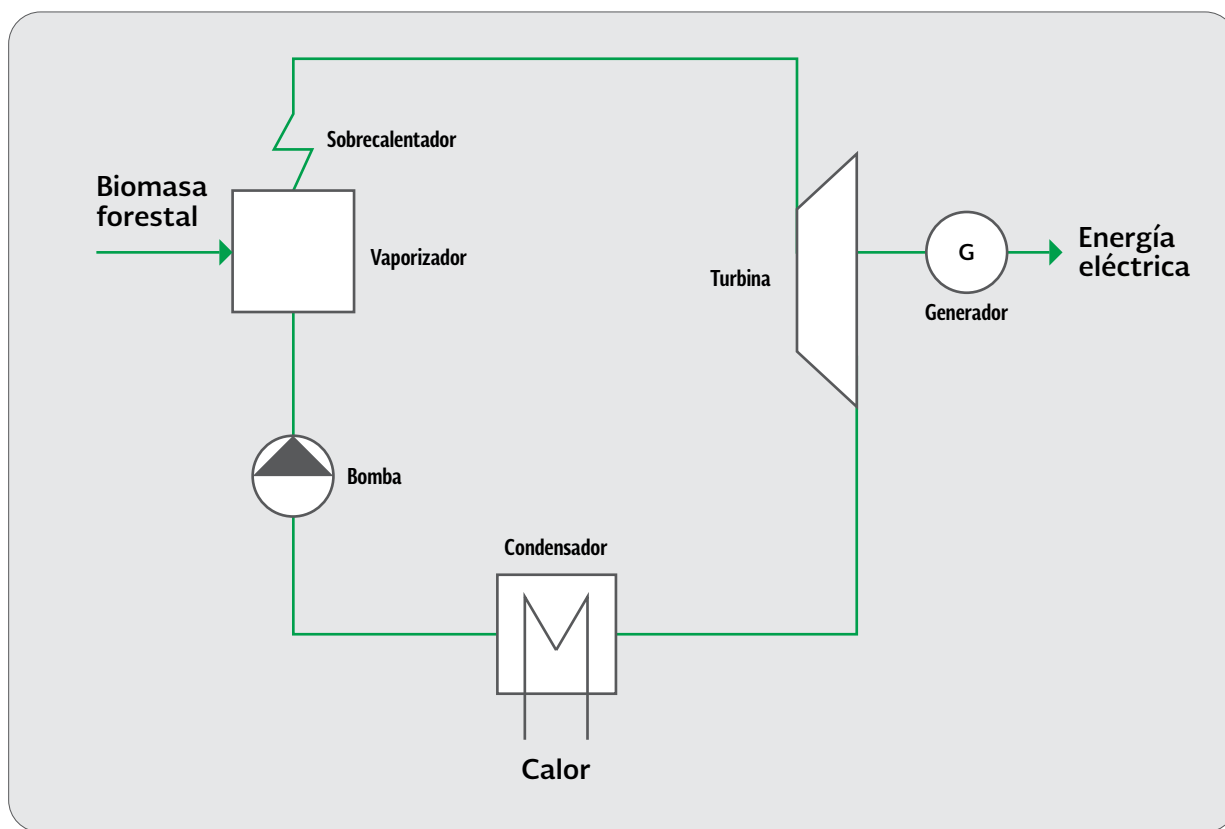


Figura 9. Esquema del proceso de vaporización. Fuente: Trigenius

Las principales diferencias entre estas dos tecnologías son el principio de funcionamiento, el Ciclo Rankine Orgánico (ORC), es un ciclo termodinámico de no sobrecalentamiento que utiliza un fluido de trabajo orgánico para producir electricidad. Este fluido se evapora a menor temperatura y debido a su mayor densidad mantiene el calor latente por mayor tiempo, la turbina del ORC puede trabajar a menor temperatura y menor presión, como se muestra en la Figura 10.

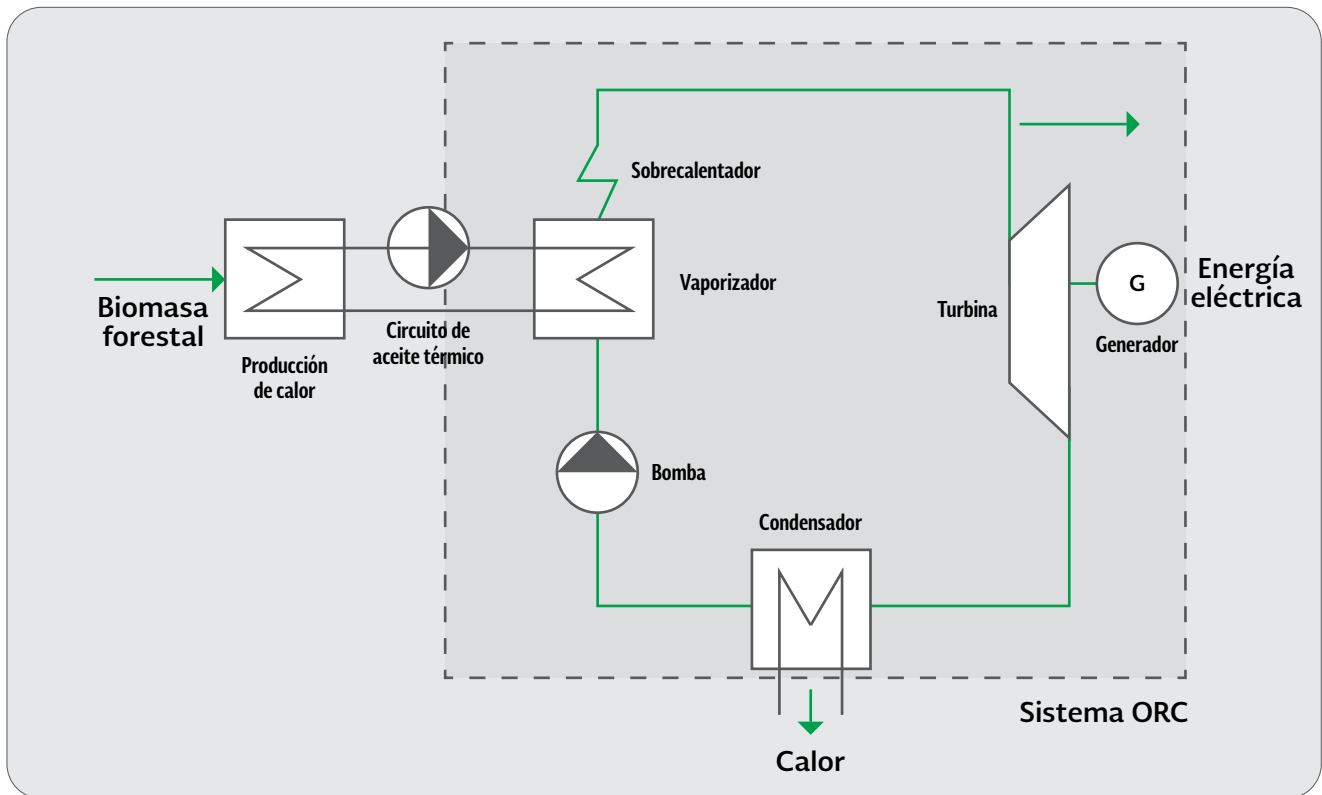


Figura 10. Esquema de un proceso ORC. Fuente. Trigenius.

Por un lado, esto reduce la eficiencia termodinámica del sistema al mismo tiempo que aumenta los costos de inversión, por otro lado, la planta puede funcionar prácticamente sin presión en comparación con el proceso de turbina de vapor. En particular, los componentes controlados por presión afectan al proceso de generación de vapor debido a los dispositivos de seguridad, esto tiene un efecto negativo en los costos de inversión y por lo general reflejan un aumento de los costos de operación y monitoreo.

Para el ciclo de vapor, el límite inferior de la potencia de salida eléctrica es de alrededor de 250 kW. La eficiencia eléctrica está en función de la cantidad de vapor y utilización del vapor en los procesos, los cuales dependen mucho de la calidad, cantidad y poder calorífico de la biomasa la cual puede ser de hasta el 25%. En la gama de baja potencia se espera eficiencia significativamente más baja. Existen sistemas ORC con potencia de salida eléctrica desde 200 kW en el mercado con una eficiencia de hasta 20%.

Para rangos de salida de pequeña y mediana escala, ambos sistemas tiene requisitos generales, por lo tanto son recomendables para su operación aislada en procesos industriales de pequeña y mediana escala, ya que su operación y manejo así como los costos de mantenimiento son costeables. Los costos específicos disminuyen con el aumento de la potencia de salida de los sistemas, la eficiencia de estos sistemas depende mucho del tamaño de la planta.

Fundamentalmente las plantas modernas de generación de calor a partir de biomasa forestal pueden trabajar con una amplia gama de calidades y composiciones. Las demandas sobre la calidad de la biomasa forestal generalmente disminuyen a aumentar el tamaño del sistema.

### 3.3.2 Gasificación de madera

La gasificación es una tecnología que implica la transformación de biomasa de madera a un gas altamente combustible (gas de síntesis) compuesto de nitrógeno, monóxido de carbono e hidrógeno. Esto generalmente se logra calentando y oxidando el combustible de biomasa forestal en un ambiente sin oxígeno lo cual previene la combustión completa del combustible liberando gas de síntesis.

El principio básico de la utilización de plantas de gasificación de la madera para la electricidad y la generación de calor se puede dividir en tres fases simplificadas, como se muestra en la Figura 11. En la primera fase, se genera el denominado gas de síntesis. Éste se enfría en la segunda fase a una temperatura requerida para la entrada al motor de combustión interna, después es purificado o tratado de polvo y alquitrán.

En la fase final, el gas producto se quema en un motor, en el que la energía mecánica se convierte por un generador en energía eléctrica. El circuito de refrigeración del motor también se puede utilizar para la extracción de calor para fines de calefacción o de proceso.

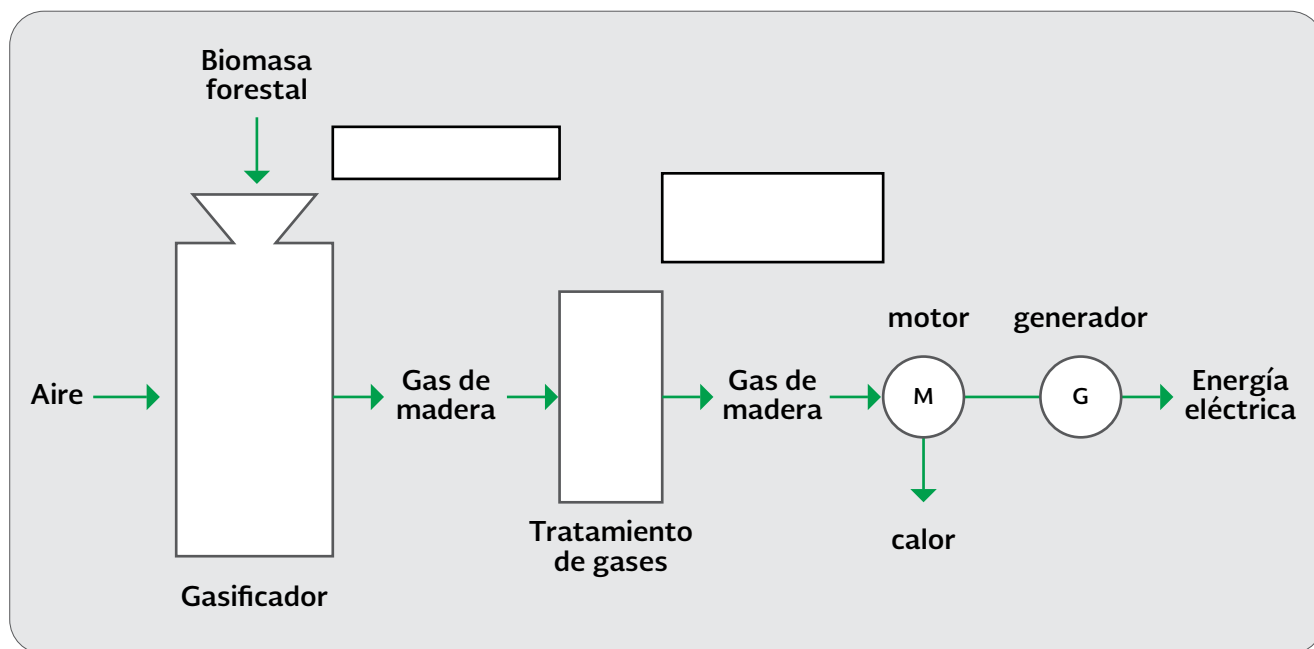


Figura 11. Esquema de un proceso de gasificación. Fuente: Trigenius.

A pesar de que la gasificación es una tecnología probada en otros combustibles, su aplicación para el caso de la biomasa forestal aún está en desarrollo y con pocas ventajas en el mercado. Las plantas de gasificación de biomasa forestal principalmente presentes en el mercado tienen una capacidad de generación de 20-300 kW con una eficiencia del 25%. Sin embargo los costos de la instalación, operación y mantenimiento son elevados comparación con otras tecnologías para el mismo tamaño del sistema.

Estas plantas operan consumiendo astillas de madera y utilizan el aire como agente gasificante. Las exigencias al respecto a la calidad de la biomasa están en función de la especie, el porcentaje de humedad y contenido de corteza. El hecho de utilizar especies que no correspondan con las especificaciones del sistema, puede provocar bloqueos mecánicos, así como la formación de gases nocivos, lo que puede causar problemas y pérdidas de eficiencia en el posterior funcionamiento del motor. La presencia de hidrocarburos de cadena larga (alquitranes) en el gas de síntesis, también afecta el funcionamiento del gasificador. Estos riesgos aumentan cuando las especificaciones de la materia prima no se cumplen.

Con base en lo anterior, es importante realizar una preparación adecuada de las astillas. Esta preparación de la biomasa implica un costo adicional y esfuerzo organizativo. El alto contenido de humedad en las astillas reduce la eficiencia global de la planta. Los gastos de operación son relativamente significativos en plantas de gasificación y se requieren revisiones periódicas completas de los componentes internos del motor de combustión, los cuales deberán considerarse en la proyección de costos.

En la Tabla 5 se presenta una comparación de los tres tipos de tecnología, respecto de sus rendimientos, operación y mantenimiento entre otros; los costos de inversión son solo orientativos.

	TURBINA DE VAPOR - CALEFACCIÓN	ORC - CALEFACCIÓN	GASIFICACIÓN DE MADERA
<b>Rango de potencia</b>	desde 250 kW	desde 200 kW	20...300 kW
<b>Rendimiento</b>	=10/25%	=13/20%	=10/25%
<b>Control</b>	medio-bueno	bueno	medio malo
<b>Comportamiento carga parcial</b>	hasta 60% de carga nominal hasta 80% de la eficiencia nominal	hasta 60% de carga nominal hasta 80% de la eficiencia nominal	hasta aprox. 50% variable de carga nominal, hasta 90% de eficiencia nominal
<b>Combustible</b>	astillas de madera, corteza, viruta	astillas de madera, corteza, viruta	astillas de madera
<b>Requisitos de combustible</b>	bajo	bajo	alto
<b>Fluido de trabajo</b>	agua/vapor de agua	aceite térmico, aceite de silicón	producto de gas/gas de madera
<b>Gastos de operación</b>	medio alto	bajo	bajo
<b>Mantenimiento</b>	medio	medio	medio-alto
<b>Comentarios</b>	requiere tratamiento de agua	requiere el cambio del aceite térmico es caro	los componentes de alquitrán pueden conducir a la obstrucción del punto de rocío
<b>Costo promedio de la inversión</b>	aprox. \$65,000.00 - 75,000.00/kW	aprox. \$95,000.00 - 105,000.00/kW	aprox. \$95,000.00 - 105,000.00/kW

Tabla 5. Comparación de tecnologías en la generación de energía con biomasa forestal. Fuente: Trigenius.

### 3.3.3 Motor Stirling

Los motores Stirling son una buena opción para la generación de energía eléctrica en el sector forestal a pequeña escala, y con ello el desarrollo de las condiciones básicas para la interconexión de una planta de energía en la red. Estos están disponibles en rangos de potencia muy pequeñas y pueden adaptarse a los procesos de generación de calor en un sistema existente.

Su operación, como se puede observar en la Figura 12, se caracteriza por un sistema de calefacción y refrigeración permanente de un gas dentro de un cilindro. Se puede considerar de combustión interna, la temperatura del gas y por lo tanto la presión en el sistema se incrementa provocando el movimiento del pistón. El mecanismo central del Stirling consiste en dos pistones/cilindros, uno para disipar el calor y desplazar aire caliente hacia la sección fría (y viceversa) y el otro pistón entrega la fuerza para aplicar torque al cigüeñal.

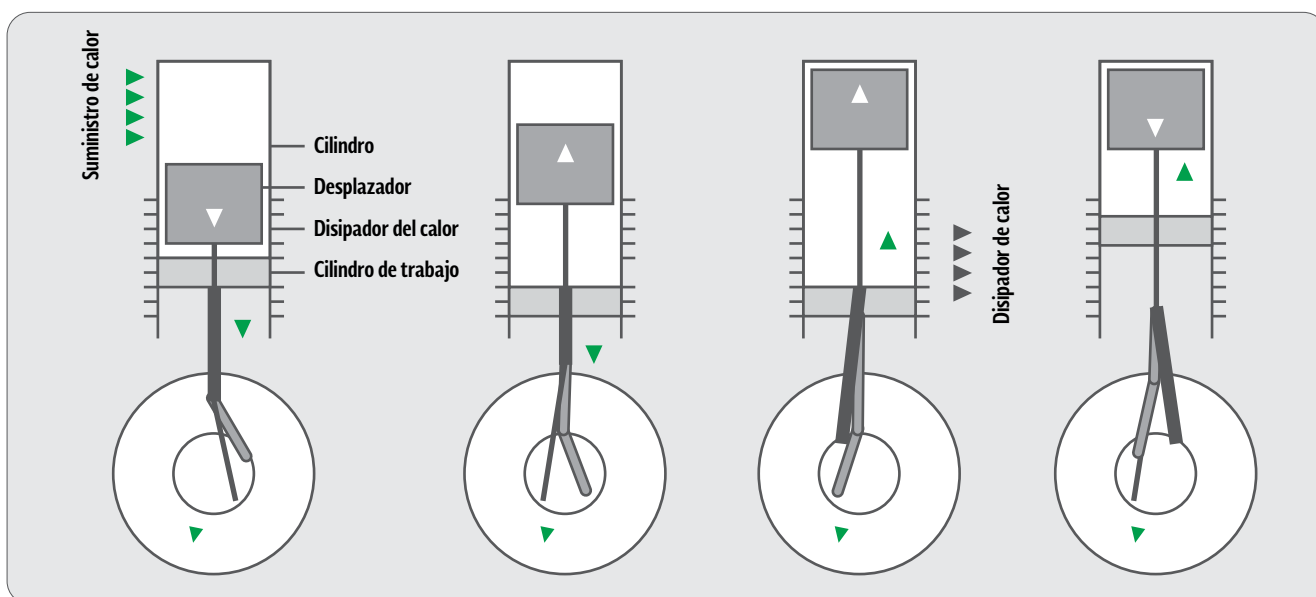


Figura 12. Esquema del funcionamiento de un motor Stirling. Fuente: Trigenius.

La tecnología del motor Stirling se desarrolló hace unos 200 años. Hasta la fecha, solo se han llevado a cabo proyectos demostrativos debido a que los costos de inversión son elevados respecto a otras tecnologías maduras.

En la Tabla 6 se muestran las principales características de esta tecnología.

<b>MOTOR STIRLING</b>	
<b>Rango de potencia</b>	0.5...100kW
<b>Rendimiento</b>	=20-25%
<b>Control operacional</b>	Bueno
<b>Comportamiento de carga parcial</b>	Hasta aprox. 25% de carga nominal de alta eficiencia de carga ajustable
<b>Combustibles</b>	La integración en el flujo de calor de escape
<b>Requisitos para los combustibles</b>	=
<b>Medio de trabajo</b>	Helio
<b>Gastos de operación</b>	bajo
<b>Mantenimiento</b>	bajo
<b>Comentarios</b>	El sistema de origen calor / escape debe ser resistente a la condensación
<b>Costo promedio de la inversión</b>	Aprox. \$65,000.00 - 75,000.00/kW

Tabla 6. Información general sobre la generación de energía con motor Stirling. Fuente: Trigenius.

## 4. CONCEPTO DE SUMINISTRO DE ENERGÍA

### 4.1 Consideraciones

Las siguientes secciones de este documento, contienen algunas consideraciones que pueden servir como una herramienta de apoyo para la implementación de proyectos de generación de energía a partir de biomasa forestal. Sin embargo, no todas las condiciones planteadas pueden ser aplicables en todos los sitios, debido a que cada zona cuenta con sus características particulares que pueden influir en la determinación del tamaño y el tipo de tecnología para la generación de energía; como son sus instalaciones, operación y mantenimiento del sistema, además de la organización social de los ejidos, comunidades y empresas forestales comunitarias.

Por lo anterior es importante establecer que con el presente documento no es posible cubrir todas las condiciones para la implementación de un proyecto de generación de energía, no obstante, si se toman en cuenta los factores sugeridos es posible minimizar los riesgos en su implementación.

Las secciones a considerar son: el Concepto de Suministro de Energía, el Análisis de Factibilidad, y la Operación y Mantenimiento. En lo anterior se incluyen criterios necesarios en la implementación, operación y mantenimiento de cualquier sistema de generación de energía eléctrica y en su caso el aprovechamiento del calor residual.

#### 4.1.1 Modelos de suministro

Las especificaciones en la operación y tamaño de un sistema de generación dependen del tipo y la demanda de energía. Estas incluyen la provisión de cantidades de energía eléctrica y/o térmica, tanto para la operación propia del sistema, así como para suministrar otros procesos industriales. Básicamente se puede considerar la posibilidad de que el sistema genere de forma total la demanda energética de un proceso, considerando la demanda propia de operación del sistema (carga completa), o también la generación parcial de la demanda (carga base). La operación de carga completa permite una autosuficiencia energética de todos los consumidores considerados. Esto tendría la ventaja para las regiones que no pueden interconectarse a una red de transmisión o a una infraestructura de red central (operación aislada).

Por otro lado, si existiera una red de transmisión que permitiera interconectar una central de energía en donde el centro de carga tiene fallas, la electricidad generada en la central eléctrica contribuirá a la estabilidad en la transmisión de la red nacional.

Mientras tanto, si las necesidades totales de energía se satisfacen con la generación, el excedente se puede transmitir y distribuir a través de la red eléctrica pública. Estos excedentes, contribuyen a que la red se pueda apoyar en las secciones de difícil suministro. La implementación de esta solución es relevante para la interconexión, distribución y transmisión en el Sistema Eléctrico Nacional, por ello es importante revisar esta propuesta desde el punto de vista legal y regulatorio.

Para el caso de generación parcial, ésta solo contribuirá a la satisfacción de la demanda base de los consumidores que estén conectados a esa central eléctrica. En general, una pequeña proporción de la demanda de energía se cubre con algunas horas de funcionamiento. El resto de la demanda de la energía es cubierto por la conexión a una red del Sistema Eléctrico Nacional o con un generador adicional. Para la cogeneración (electricidad y calor) se debe tomar en cuenta que ambos están disponibles, y que no son independientes entre sí.

En la Figura 13 se proporciona una visión general de las posibles combinaciones de suministro de energía para una operación aislada y una operación interconectada a la red.



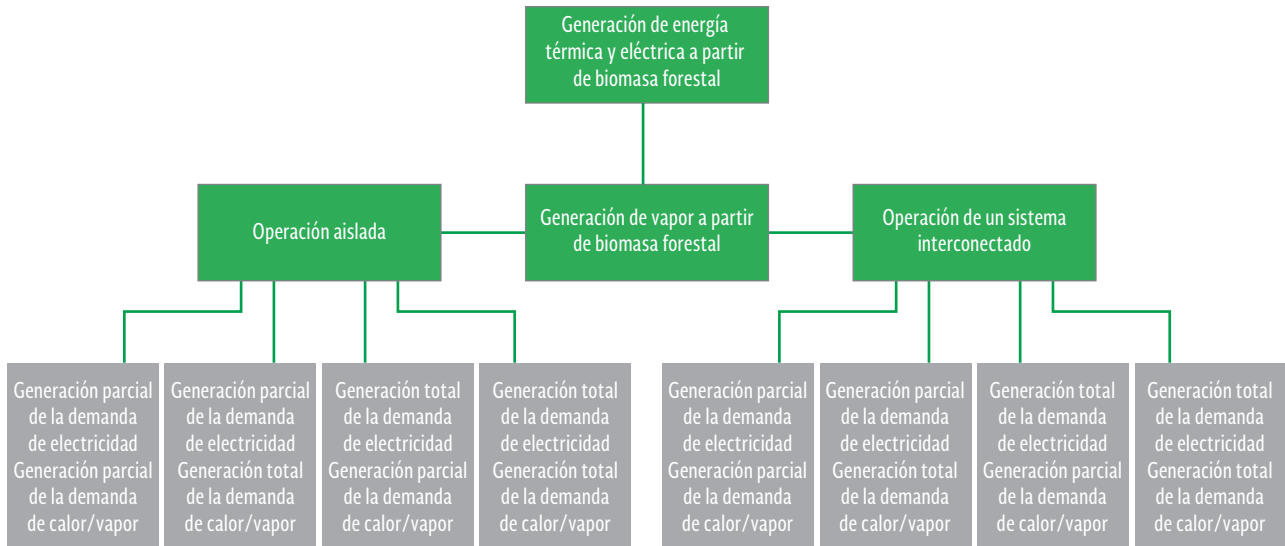


Figura 13. Modelos de operación de un sistema de generación a partir de biomasa forestal. Fuente: Trigenius.

### 4.1.2 Modelos de Negocio

La cadena de procesos para la producción de energía a partir de biomasa forestal se puede dividir principalmente en las áreas de producción/abastecimiento, la preparación de la biomasa forestal, la generación de energía eléctrica y el consumo de la electricidad.

A partir de estos procesos, se debe satisfacer la demanda de calor y electricidad. Además se deben de conocer tanto la operación y el mantenimiento de la planta de energía, así como la oferta y la demanda energética, además de la cantidad y la calidad de la biomasa forestal; considerando sus costos.

La Figura 14 ofrece una visión general de los pasos para la organización de procesos, y las condiciones de todos los servicios para la producción de energía a partir de biomasa forestal.

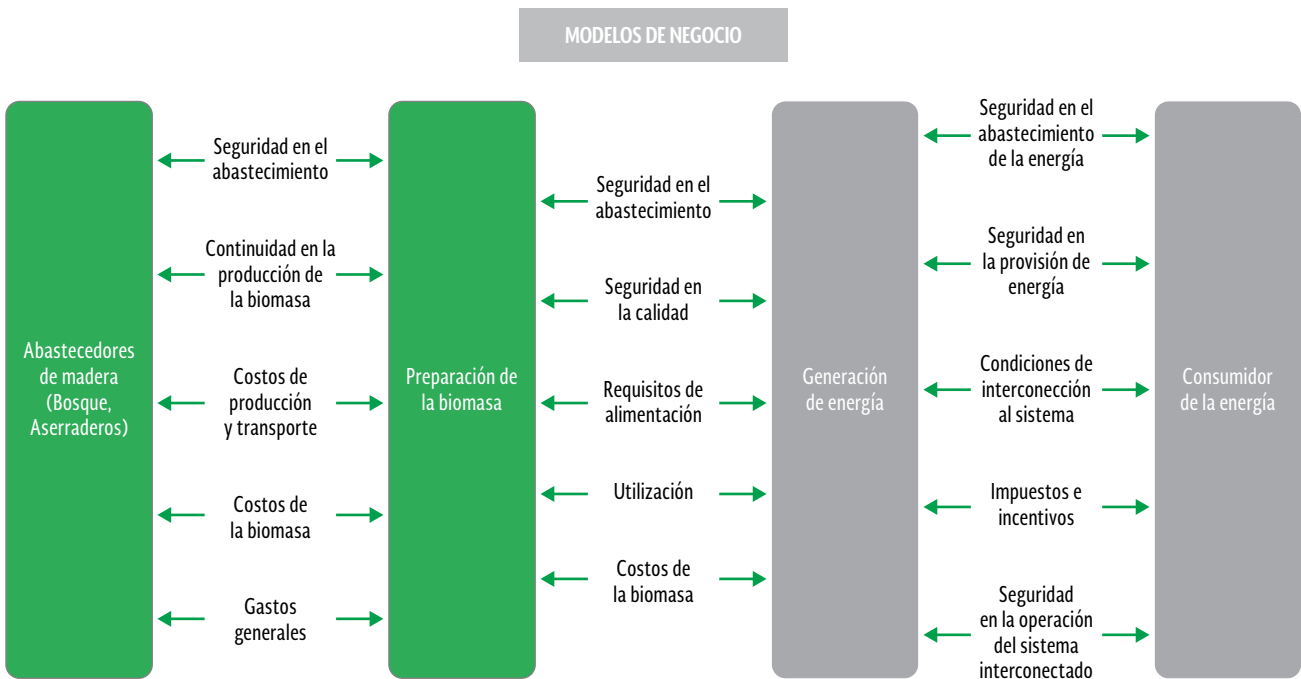


Figura 14. Modelos de negocio de un sistema de generación a partir de biomasa forestal. Fuente: Trigenius.

Desde un enfoque forestal, la consideración fundamental es ¿Cuál es el proceso elegible en la generación de energía que puede satisfacer la demanda energética en una industria forestal?, y a su vez ¿Cuál es la demanda energética que se puede satisfacer a partir de la biomasa forestal disponible? Para responder estas consideraciones, se debe identificar los requisitos y logísticas que implican ambos procesos.

El valor agregado en la producción de energía radica principalmente en contar con un alto rendimiento energético en el aprovechamiento y transformación de la biomasa forestal, así como una seguridad en el abastecimiento de la misma. Sin embargo, este nivel de integración vertical se asocia con una buena organización social y la disponibilidad de inversión.

Sí el abastecimiento de la biomasa forestal se limita solo a la extracción de residuos derivados del aprovechamiento en el bosque, los gastos de operación y logística pueden resultar elevados y económicamente poco viables, una opción para disminuir estos costos, es la planeación de una logística de abastecimiento de biomasa forestal residual proveniente de los predios forestales que se encuentren cercanos al sistema de generación de energía eléctrica. Sin embargo, esta operación y logística no debe implicar inversiones u organización social adicional.

## **4.2 Localización**

Para la toma de decisiones en el establecimiento de un proyecto de generación de energía, se propone un modelo de negocio, el cual podría estar integrado por diferentes ejidos, comunidades o empresas forestales comunitarias que cuentan con un centro de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales (CAT), en donde cada organización social forestal contará con el establecimiento de un sistema de generación eléctrica.

Es importante conocer los volúmenes anuales de aprovechamiento forestal maderable así como, el volumen de transformación en la industria de cada uno de los ejidos, comunidades o empresas forestales comunitarias que integran el modelo de negocio. Se debe asegurar que los residuos forestales que se generan tanto en monte como en la industria están disponibles para utilizarlos con fines dendroenergéticos.

Para fines demostrativos de este documento, se utilizará información de industrias forestales, las cuales corresponden a 4 empresas forestales comunitarias, localizadas en Chihuahua y Oaxaca, de las cuales, 1 de las empresas cuenta con 2 centros de almacenamiento y transformación de materias primas forestales (Figura 15).



Figura 15. Mapa de localización de los diferentes ejidos propuestos en este modelo demostrativo.  
Fuente: Trigenius.

El manejo y aprovechamiento de los bosques se realiza considerando sus características de sitio y su productividad. De acuerdo con su potencial productivo se aplican tratamientos de baja intensidad como la selección o bien tratamientos intensivos como las cortas totales. La mayoría de la superficie de aprovechamiento es de bosque templado y el mercado está principalmente enfocado a la comercialización de pino.

Los tiempos de operación de los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales son variables entre sí, en su mayoría dependen de las condiciones climáticas. Debido a que en algunas zonas la temporada de lluvia restringe el acceso al bosque, dejando hasta dos meses sin materia prima a estos centros.

Existen centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales (CAT) que utilizan la biomasa forestal residual en procesos térmicos para el secado de madera. Sin embargo, en algunos CAT, la producción de madera estufada está limitada por la demanda comercial, así como por los periodos de inactividad de las estufas debido a los trabajos de mantenimiento y reparación de las mismas.

### 4.3 Potencial de la biomasa en los sitios

En los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales de los sitios considerados, se generan grandes cantidades de biomasa forestal residual (corteza, virutas, astillas y aserrín), así mismo tienen un consumo industrial de energía eléctrica.

Gran parte de los volúmenes de biomasa forestal residual generada en los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales no tienen un uso comercial, solo en algunos sitios se tienen mercado para estos materiales.

## A continuación se presenta el potencial de biomasa para cada sitio:

• Mesa del Huracán + El Largo:	12,000	tMS	equivalente:	60,000	MWh
• Yoquivo:	6,525	tMS	equivalente:	32,625	MWh
• Ixtlán de Juárez:	4,700	tMS	equivalente:	23,500	MWh
• San Pedro el Alto:	6,250	tMS	equivalente:	31,250	MWh

Esta información es general, para una planeación detallada, se deberá revisar y verificar estos volúmenes. La información se obtuvo a partir de visitas de campo a los diferentes CAT, el potencial de biomasa forestal fue calculado de acuerdo a los diferentes volúmenes de aprovechamiento que se tienen en los diferentes sitios. En los siguientes cálculos, estos valores se consideran como volúmenes disponibles para un uso dendroenergético.

### 4.4 Desarrollo conceptual

Se requiere de un manejo y aprovechamiento integral y sustentable para aprovechar toda la biomasa forestal residual que se encuentra disponible tanto en el bosque como en los centros de almacenamiento y transformación de materias primas forestales. El planteamiento de desarrollo de los proyectos se ubica a nivel de CAT, por ello es necesario analizar las diferentes sinergias posibles para lograr un aprovechamiento integral del material forestal residual para la generación de energía eléctrica y/o térmica a partir de la biomasa forestal.

En el desarrollo de los proyectos la generación de electricidad es prioritaria, para ello, se considera que el principal abastecimiento de biomasa forestal será a partir de los residuos que se generan en los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales. Este volumen deberá ser constante y suficiente para satisfacer la demanda de biomasa forestal en la generación de energía eléctrica. A partir de estos volúmenes se calculará la capacidad de satisfacer la demanda de energía eléctrica, ya sea total o parcial de los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales. Además se puede considerar el uso del calor residual para cubrir las demandas de los procesos térmicos de los CAT.

El establecimiento y operación de los sistemas de generación eléctrica consideran la interconexión al Sistema Eléctrico Nacional (SEN), esto con la finalidad de asegurar la provisión y el suministro de la energía y de minimizar riesgos en los procesos operacionales de los centros de abasto y transformación de las materias primas forestales por fallas en el sistema de generación.

Para este propósito, se propone el uso de un sistema de turbina de vapor. La construcción básica de la planta de energía se muestra la Figura 16.



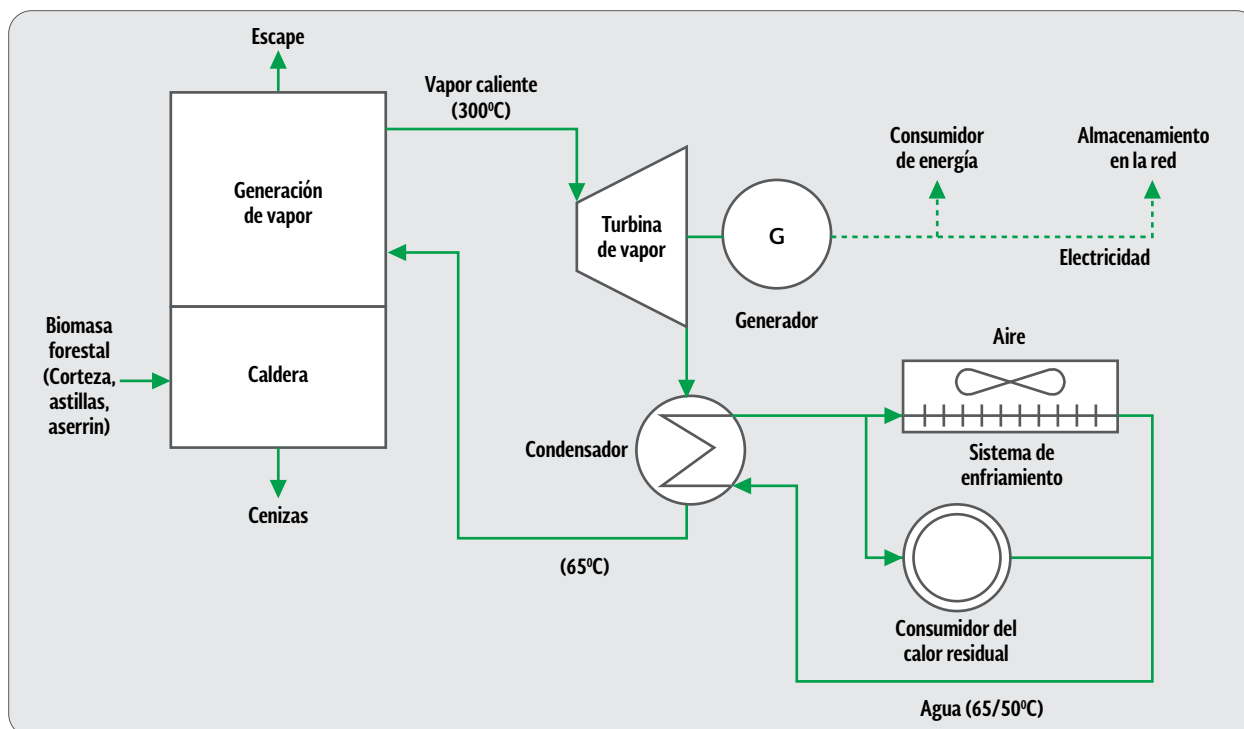


Figura 16. Modelo conceptual del sistema de generación de energía. Fuente: Trigenius.

La ventaja principal de este modelo conceptual sobre otros sistemas para la generación de electricidad a partir de biomasa forestal es la flexibilidad en la calidad de la biomasa forestal. Por lo tanto, es posible utilizar las cantidades de aserrín, virutas y corteza actualmente no utilizadas. Al mismo tiempo, debido a que es una tecnología madura, su operación no es compleja.

Los componentes individuales del sistema descrito como son las calderas de combustión de biomasa y las turbinas de vapor existen en el mercado. Sin embargo, la combinación de estas tecnologías aplicada a la biomasa forestal hasta el momento, es poco común y requiere una planificación detallada.

#### 4.4.1 Recomendaciones de implementación

Una vez planteadas las expectativas del modelo conceptual es conveniente el establecimiento de sistemas de generación de energía eléctrica y/o térmica a partir de una mismo tipo de tecnología. Esta propuesta tiene como base la similitud de los sitios y la operación de los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales.

Este planteamiento en comparación con el establecimiento de un proyecto único piloto o el establecimiento de diferentes tipos de tecnologías, presenta las siguientes ventajas:

- La planeación es general, solo se consideran gastos extras para especificaciones en cada instalación.
- La reducción de los costos y los riesgos en el desarrollo de proyectos.
- La reducción de los costos en la adquisición de los sistemas por mayoreo.
- La operación y mantenimiento a bajo costo, debido a que está generalizado el proceso y se puede gestionar la capacitación de un grupo de ingeniería que de manera organizada y periódica brinde los servicios. Por otro lado, los tiempos de inactividad por mantenimiento y reparación de los componentes del sistema serían considerablemente cortos.

Además, el modelo de generación en los CAT es similar, por lo tanto su diseño será prácticamente el mismo. Esto tiene un impacto positivo en la planeación y los costos de inversión.



## 4.4.2 Tamaño del sistema

De acuerdo a los potenciales de biomasa residual en cada uno de los sitios propuestos, se puede considerar el establecimiento de un sistema de generación con una capacidad nominal de 499 kW<sub>el</sub>, la generación de energía eléctrica es suficiente para satisfacer los procesos del centro de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales, además en términos de trámites y permisos de generación eléctrica, esta capacidad se encuentra en una modalidad simplificada.

A partir del volumen de biomasa forestal residual que se encuentra disponible para la generación de energía, se plantean los componentes del sistema, los cuales consideran un alto rendimiento en la generación de electricidad a partir de la producción del vapor:

- Vapor sobrecalentado: 30 bar, 300 ° C
- Condensación: 0.25 bar, 65 ° C

Bajo estas condiciones, tenemos el siguiente diseño de sistema:

- Caldera de biomasa (potencia térmica): 3,360 kW
- Generador de vapor (potencia nominal): 2,690 kW<sub>th</sub> con una demanda de 3.6 tMS/h
- Generador eléctrico (salida terminal): 499 kW<sub>el</sub>.

## 4.4.3 Balance de energía

Para cada centro de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales se considera un tiempo de operación de 7,500 horas anuales. Esta estimación permite llevar a cabo una operación regular y trabajos de mantenimiento sin detención en los tiempos de funcionamiento.

En estas condiciones el sistema descrito tendrá la siguiente demanda de combustible y producción anual:

- Consumo de combustible: 25,170 MWh (100%)
- La producción de calor: 15,768 MWh (62.6%)
- La producción de electricidad: 3,241 MWh (12.9%)

El consumo de energía del sistema de generación ya se considera en el cálculo. En la Figura 17 se muestra el balance energético del proceso, donde del 100% de la energía de la biomasa forestal, el 80% se transforma en vapor sobrecalentado, de esta cantidad el 62.6% es calor, el 12.9% electricidad y 4.5% pérdidas en el turbogenerador.



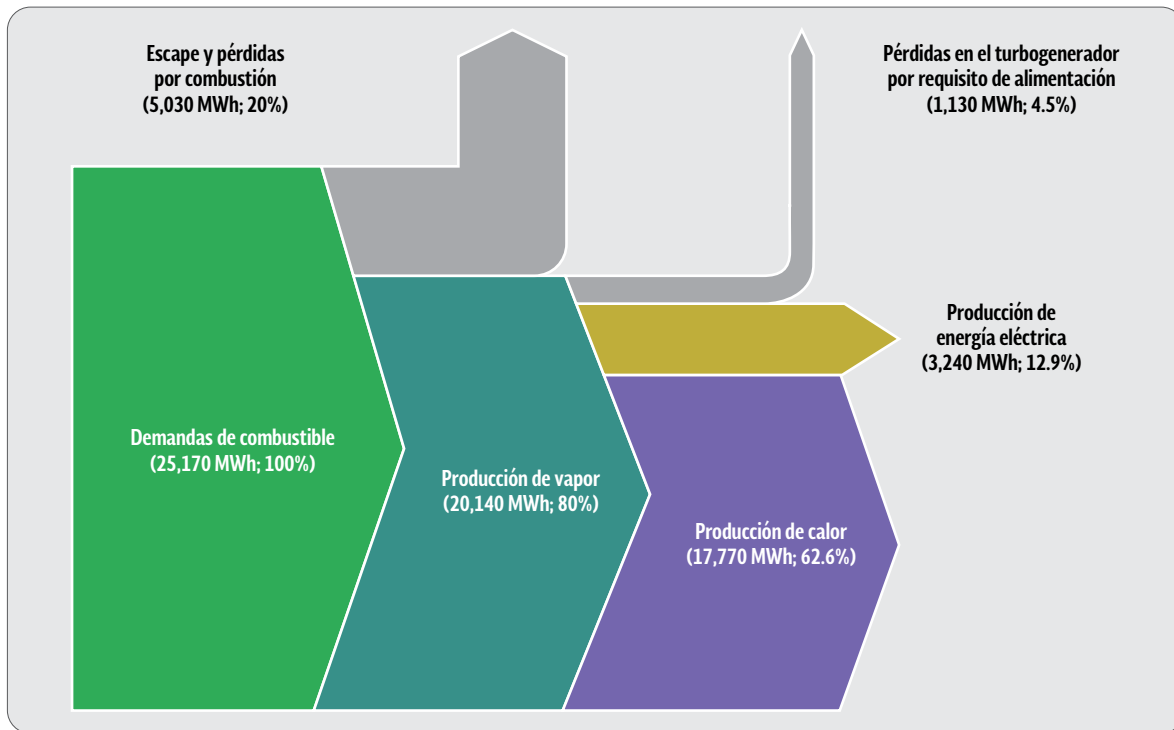


Figura 17. Balance energético en el sistema de generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal. Fuente: Trigenius.

Como se ha mencionado antes, las necesidades de calidad y cantidad de biomasa forestal son las mismas en los sitios planteados, por lo tanto, el abastecimiento del combustible es similar en el cálculo de montos de inversión (Tabla 7).

La demanda anual de combustible prevista es de aproximadamente 45,000 m<sup>3</sup> de biomasa forestal correspondiente a 9,000 tMS para una generación esperada de 45,000 MWh.

UBICACIÓN	DEMANDA DE COMBUSTIBLE [MWh/a]	POTENCIAL DE BIOMASA FORESTAL RESIDUAL [MWh/a]	DIFERENCIA [MWh/a]
El Largo	25,170	60,000	9,660
Mesa del Huracán	25,170		
Yoquivo	25,170	32,625	7,455
Ixtlán de Juárez	25,170	23,500	-1,670
San Pedro	25,170	31,250	6,080

Tabla 7: Comparación del consumo de combustibles y los potenciales de biomasa forestal en términos energéticos. Fuente: Trigenius.

## 4.5 El uso de la energía producida

### 4.5.1 El uso de la energía eléctrica generada

La electricidad producida se puede utilizar para satisfacer las propias necesidades operativas de los procesos, tanto del sistema de generación eléctrica como del centro de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales y reducir en consecuencia el consumo de electricidad de la red. Lo anterior está determinado por los tiempos de operación del CAT y su volumen de materia prima transformada.

Para evaluar la capacidad nominal del sistema de generación que garantice cubrir la demanda total de los procesos, es necesario realizar un balance de los consumos, los cuales deberán considerar la energía producida y la demanda de electricidad del centro de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales. Estos estudios se concretarán en la etapa de planeación del sistema.

Para cada sitio se ha calculado la demanda de energía necesaria para satisfacer la operación de los procesos de los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales, así como la capacidad de generar excedentes a partir de la biomasa forestal disponible. Se considera que en los periodos de inactividad de los CAT, el sistema de generación permanezca operando e inyectando la energía generada a la red, como se muestra en la Tabla 8.

UBICACIÓN	DEMANDA TOTAL DE ENERGÍA [MWh/a]	ENERGÍA PRODUCIDA A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL [MWh/a]	ENERGÍA CONSUMIDA DE LA RED [MWh/a]	Excedente de electricidad a partir de biomasa forestal
El Largo	736	706	30	2,535
Mesa del Huracán	83	77	6	3,164
Yoquivo	69	63	6	3,178
Ixtlán de Juárez	337	305	32	2,936
San Pedro	293	287	6	2,954

Tabla 8: Posibles aportaciones de los excedentes. Fuente: Trigenius.

De acuerdo con la Tabla 8, se calcula que durante la operación de los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales, el sistema de generación de energía puede abastecer parte de la demanda total del CAT, sin embargo, dentro de la planeación también se considera un consumo mínimo de la red, debido a que se deben de considerar contingencias del sistema.

Estos excedentes se pueden utilizar cuando la demanda de energía en el centro de almacenamiento y transformación de materias primas forestales sea mayor a la demanda calculada. Otra opción de aprovechar los excedentes, sería su comercialización, esto en función de las condiciones legales y técnicas vigentes en el Sistema Eléctrico Nacional y el Mercado Eléctrico Mayorista y dependiendo de las condiciones locales se plantearán los escenarios posibles.

### 4.5.2 Usos del calor generado

En este planteamiento el principio de funcionamiento del sistema de generación es térmico, por lo tanto se generan cantidades considerables de calor, las cuales se pueden utilizar en los procesos del centro de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales. Si este calor residual no se utilizara, el sistema de generación deberá considerar la instalación adicional de un sistema de enfriamiento. Lo cual implica, que dentro de la demanda de energía propia de la central eléctrica, se considere adicionalmente que el sistema de enfriamiento también consume energía. La eficiencia del sistema se reduce significativamente por el calor no utilizado y por la cantidad adicional de la propia demanda de electricidad. El uso del calor aumenta la rentabilidad del sistema de generación.



Durante la planeación del proyecto es muy importante conocer el uso que tendrá el calor residual.

Existen diferentes posibilidades de uso del calor residual, el primero es su utilización para el secado de madera aserrada. La madera estufada tiene un valor agregado respecto de los otros productos que se ofrecen en el mercado de la madera. Con una generación aproximada de 15,770 MWh es posible secar hasta 33,000 m<sup>3</sup> de madera a un 10% de humedad.

Otra alternativa de uso del calor residual, es utilizarlo en otros procesos térmicos, como en invernaderos, procesos de industrias lácteas y de alimentos, o en la producción de pellets de madera. La alta disponibilidad de más de 7,500 horas anuales de generación de energía eléctrica a precios económicos y el uso del calor residual sirve de incentivo para el establecimiento de procesos complementarios en los alrededores de los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales.



## 5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

### 5.1 Costos de inversión

El costo total del sistema de generación eléctrica propuesto, se puede calcular a partir de los costos de los componentes y los parámetros específicos de construcción. Con base en estas consideraciones, se puede decir que la inversión para el establecimiento de una central eléctrica con capacidad nominal de 499 kW<sub>el</sub> es de aprox. \$ 35,500,000 pesos (\$2.3 MDD).

En la Tabla 9 se desglosan los componentes del sistema de generación y sus costos. Cabe mencionar que estos costos pueden aumentar debido a la gestión, permisos y obras de interconexión.

1	<b>Obras de construcción</b> Sala de caldera, depósito de combustible	\$121,720.00 USD
2	<b>Caldera de biomasa</b> Incluye sistema de suministro de combustible, sistema de extracción de cenizas, sistema de escape	\$1,065,053.33 USD
3	<b>Turbogenerador</b>	\$679,933.33 USD
4	<b>Área de enfriamiento</b>	\$59,573.33 USD
5	<b>Instalaciones periféricas al sistema</b> (condensador, tuberías, bombas, control)	\$288,733.33 USD
6	<b>Interconexión a la red</b>	\$34,000 USD
7	<b>Costo de transporte</b>	\$113,333.33 USD
	<b>TOTAL DE INVERSIÓN</b>	<b>\$2,362,346.65 USD</b>

Tabla 9. Estimación de inversión para central de energía con biomasa forestal. Fuente: Trigenius.



## 5.2 Costos de operación

Para cada sistema de generación eléctrica, su operación tendrá los costos anuales que se muestran en la Tabla 10.

Mantenimiento/Reparación	\$23,623.46 USD
Administración	\$6,846.67 USD
Operación de la planta	\$1,870.00 USD
Seguro	\$5,905.87 USD
<b>TOTAL</b>	<b>\$38,246.00 USD</b>

Tabla 10. Estimaciones de costos de operación.  
Fuente: Trigenius.

El modelo conceptual de una planta piloto considera costos de operación mucho más elevados respecto del modelo del establecimiento de 5 plantas. La operación de los sistemas de generación de energía eléctrica requiere de acciones coordinadas y organizadas que brinden el mantenimiento y reparación, así como contar con un inventario general de refacciones.

Cabe hacer mención que dentro de estos costos, se considera también el hecho de que el abastecimiento de la biomasa forestal es de \$0.00 por lo que no se consideraron costos adicionales. También se considera que la demanda energética del sistema de generación está cubierta por la misma, por lo tanto, su operación no considera gastos adicionales.

## 5.3 Ingresos

Para calcular los ingresos se debe asegurar que la demanda energética será cubierta de manera total por el sistema de generación de energía. Los excedentes generados pueden distribuirse y en su caso comercializarse mediante interconexión al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Sin embargo, los ingresos adicionales se calculan para cada sitio en particular.

De acuerdo con los costos de compra de energía eléctrica en los centros de almacenamiento y transformación de materias primas forestales, para hacer un cálculo de los ingresos adicionales en la generación de energía se considera un costo de \$1,400 pesos/MWh (Tabla 11).

Este cálculo de ingresos netos deberá considerar los pagos de derechos para el uso de la red eléctrica, permisos de interconexión, los impuestos, etc.

	Consumo evitado de la red				Sistema de generación eléctrica				Total
	[MWh]	x	[\$/MWh]	[€]	[MWh]	x	[\$/MWh]	[€]	
<b>El Largo</b>	706	x	1,389	= 980,634	2,535	x	1,400	= 3,549,293	4,529,927
<b>Mesa del Huracán</b>	77	x	3,020	= 232,540	3,164	x	1,400	= 4,429,893	4,662,510
<b>Yoquivo</b>	63	x	5,990	= 377,370	3,178	x	1,400	= 4,449,493	4,826,863
<b>Ixtlán de Juárez</b>	305	x	2,289	= 698,145	2,936	x	1,400	= 4,110,693	4,808,838
<b>San Pedro</b>	287	x	1,521	= 436,527	2,954	x	1,400	= 4,135,893	4,572,420

Tabla 11. Ahorros e ingresos posibles. Fuente: Trigenius.

Suponiendo que toda la energía producida es inyectada a la red y que el sistema eléctrico utiliza esta energía, estas cantidades inyectadas no son reembolsables en su totalidad. El SEN puede pagar esta electricidad de acuerdo al precio del CTCP (Costo Total a Corto Plazo) momentáneo (el CTCP forma parte de la legislación pasada). De acuerdo con la nueva legislación (con la reforma energética) se requiere de una planeación para la disponibilidad de la energía inyectada a la red o en su caso para la comercialización de los excedentes generados e inyectados a la red. Esta planeación estará en función de los criterios y requisitos para la generación distribuida y su comercialización.

El uso de calor residual en los sitios propuestos está limitado a las instalaciones con las que cuentan sus CAT, la mayoría actualmente no cuenta con una demanda de calor en sus procesos. Por lo tanto se debe considerar el fortalecimiento de su cadena productiva para el establecimiento de estufas de secado, aumentando la eficiencia global del proceso y con ello haciéndolo más sustentable.

## 5.4 Costos de generación de energía

Para evaluar la factibilidad económica de la generación de energía eléctrica hay que evaluar sus costos de generación. En este caso, todos los costos atribuibles de generación de energía se basan en la cantidad de electricidad producida. Los costos de inversión se asignan a la vida útil esperada del sistema (20 años). Estos cálculos no consideran el interés en la inversión. El ingreso generado a partir del uso del calor, se considerará eventualmente y se atribuirá a la generación de energía eléctrica. A continuación se detalla la fórmula para calcular los costos globales de la generación de energía.

$$\text{Costos de generación de energía/(a)} = \frac{\text{Costos de inversión}}{20 \text{ años}} + \frac{\text{Costo Mantenimiento} - \text{Ingresos "Calor"}}{\text{Generación eléctrica}}$$

Con base en lo anterior, se calcula un costo de generación para cada uno de los sitios propuestos es de aproximadamente de \$ 720.00 pesos/MWh.

## 5.5 Amortización

Una vez identificado los costos de rentabilidad y de inversión, se debe evaluar el período de amortización. El período de amortización indica el tiempo de recuperación de la inversión respecto de los ingresos, considerando los gastos de operación y mantenimiento.

El periodo de amortización se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Periodo de amortización} = \frac{\text{Costos de inversión}}{\text{Ganancia anual Electricidad} + \text{Ganancia anual Calor} + \text{Ganancia de inyección a la red} - \text{Mantenimiento anual}}$$

Con base en la formula anterior, se realizaron los cálculos de amortización para cada uno de los sitios propuestos sin considerar las tarifas de interconexión y las ganancias de la energía inyectada a la red.

- El Largo: 9.0 Años
- Mesa del Huracán: 8.7 Años
- Yoquivo: 8.3 Años
- Ixtlán de Juárez: 8.4 Años
- San Pedro: 8.9 Años

Considerando que el sistema cuenta con una vida útil de 20 años, de acuerdo con el cálculo de los períodos de amortización el promedio es de 9 años, generando otros 11 años con rendimientos anuales.

## 5.6 Análisis y escenarios económicos

El siguiente análisis nos ayudará a evaluar el impacto de diversos factores en la factibilidad económica. Los siguientes resultados están destinados a apoyar el proceso de decisión de inversión y de diseño general. El análisis propone un “escenario básico” el cual se establecen los requisitos mínimos, que se deberán cumplir para el establecimiento de un proyecto y un “escenario óptimo”, el cual plantea las condiciones favorables para un aprovechamiento eficiente de la electricidad y el calor generados a partir de la biomasa forestal.

Es importante considerar que la eficiencia del sistema también influye en la factibilidad económica del sistema. En la Tabla 12 se enuncian los parámetros que tienen influencia en el periodo de amortización y los costos de producción de electricidad.

PARÁMETRO		EFEECTO DEL PARÁMETRO
Precio promedio de la electricidad alcanzable	Venta de electricidad y uso de red, basada en la producción total de electricidad	Tiempo de recuperación de la inversión
Precio promedio del calor alcanzable	Basado en la producción total de calor	Tiempo de recuperación de la inversión
		Costos de generación de electricidad
Costo de inversión	Porcentaje basado en los costos de inversión calculados anteriormente	Tiempo de recuperación de la inversión
		Costos de generación de electricidad

Tabla 12. Parámetros y su influencia. Fuente: Trigenius.

Para hacer un cálculo sobre la amortización de un sistema de generación de energía eléctrica, se tomarán como referencia los datos de campo del Ejido “El Largo” considerando los siguientes supuestos:

<b>SUPUESTOS:</b>	<p><b>El objetivo económico:</b> Periodo de recuperación &lt;5 años.</p> <p><b>• Parámetros considerados:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Los precios de generación de la electricidad, buscar la mejor tarifa para su comercialización, de acuerdo a la regulación actual.</li> <li>✓ Los precios de generación de calor o la implementación de maquinaria que demande calor en sus procesos (Estufas de secado).</li> <li>✓ La inversión.</li> </ul> <p><b>• Escenarios:</b> Los costos de la electricidad o de calor son variables y combinados para plantear los escenarios que permitan maximizar sus rendimientos.</p>
-------------------	---

### 5.6.1 Escenario base

En el escenario base no considera el uso del calor residual por lo tanto no considera ganancias del mismo.

#### Parámetros:

- Costo promedio de electricidad factible: \$ 1,398.00/ MWh
- Costo promedio del calor: \$ 0.00 / MWh
- Costos de inversión: \$ 35,435,200.00

Estos parámetros se tomaron de las secciones de inversión e ingresos. El costo promedio de la electricidad no considera los costos de interconexión y el almacenamiento en la red.

#### Características:

- El tiempo de recuperación de la inversión: 9.0 años
- Los costos de producción de electricidad: \$ 724.00/MWh



## Factibilidad:

En la Figura 18 se presentan algunas consideraciones para reducir el periodo de amortización de 9 años a 5 años bajo condiciones del escenario básico:

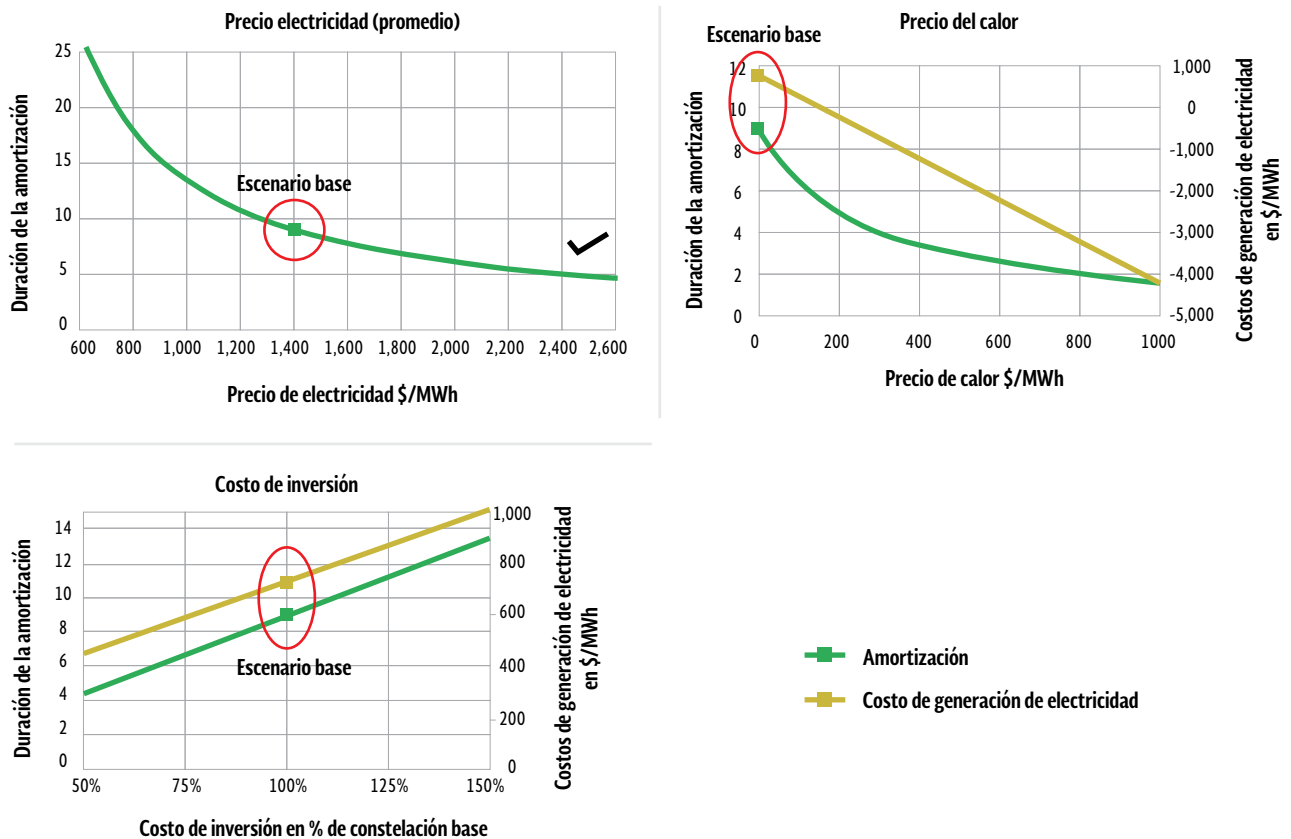


Figura 18. Análisis de factibilidad escenario base. Fuente Trigenius.

- Elevar el costo de \$1,400.00/MWh a \$2,100.00/MWh ayudaría a disminuir el periodo de amortización. Sin embargo, estos costos afectarían directamente el pago de los derechos al acceso a la red y los impuestos.
- Se recomienda el uso del calor residual para procesos industriales, el cual puede generar rendimientos entre \$100.00/MWh y \$200.00/MWh.
- Otra opción son los subsidios en los gastos de inversión, con un 50% en la inversión de la tecnología instalada, se puede asegurar un ahorro en los costos, sin embargo esto puede tener en consecuencia impactos negativos de hasta un 30% de encarecimiento de la instalación.

### 5.6.2 Escenario óptimo.

Este escenario considera ingresos adicionales a partir del uso del calor residual con un costo promedio de \$100/MWh<sub>t</sub> y eleva el costo de la electricidad hasta \$1,900.00/MWh, lo cual permite reducir el período de amortización hasta 4.9 años.

## Parámetros:

- Costo promedio de electricidad factible: \$ 1,900.00/MWh<sub>e</sub>
- Costo promedio de calor residual: \$ 100.00/MWh<sub>t</sub>
- Costos de inversión: \$ 35,435,200.00

El costo promedio del calor residual cuando se utiliza al 100% es de \$100/MWh<sub>t</sub>, sin embargo cuando solo se consume el 50% del calor este tiene un costo de \$200.00/MWh<sub>t</sub>.

## Características:

- El tiempo de recuperación de la inversión: 4.9 años
- Los costos de producción de electricidad: \$237.20 /MWh<sub>e</sub>

## Factibilidad:

Como se puede observar en la Figura 19, el período de amortización en el escenario óptimo es significativamente menor comparado con el escenario base. Las condiciones y los valores del escenario óptimo pueden servir de referencia para realizar un planteamiento para el establecimiento de proyectos dendroenergéticos.

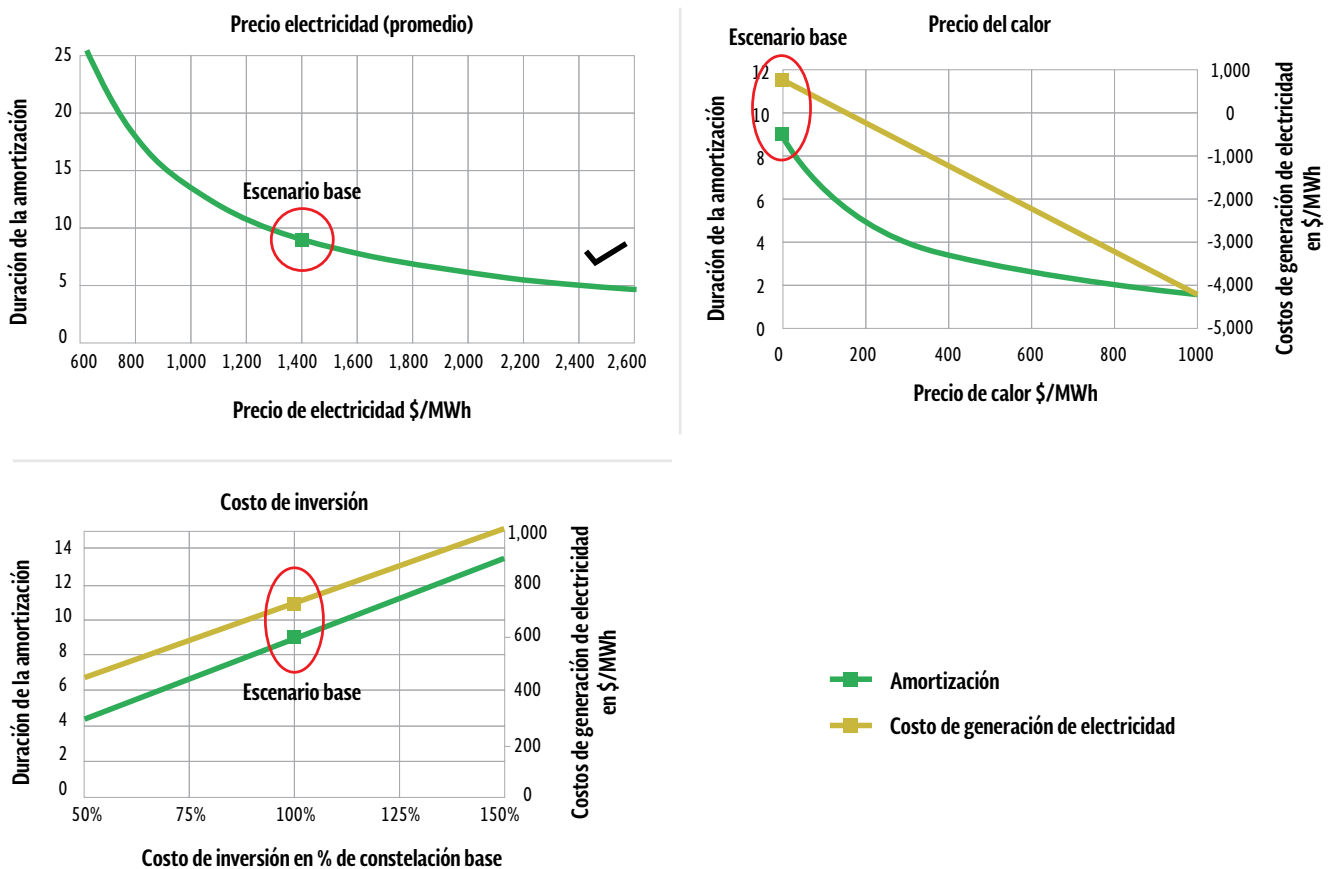


Figura 19. Análisis de factibilidad escenario óptimo. Fuente Trigenius.



## 6. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Las centrales de generación de energía, están diseñadas considerando una vida útil de 20 años, con una operación anual de hasta 8,000 horas anuales. Sin embargo los cálculos se realizaron considerando únicamente 7,500 horas anuales de operación, esto debido a los períodos de mantenimiento y reparaciones que se llevan a cabo de manera regular. Sin estos mantenimientos y con la carga de trabajo, los sistemas de generación tienden a presentar averías mayores generando impactos económicos negativos.

La falta de un mantenimiento regular genera largos lapsos de inactividad, lo cual puede afectar los procesos térmicos y eléctricos que se llevan a cabo en los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales. En algunas ocasiones, la ubicación de los sistemas de generación es una limitante para el suministro de piezas de repuesto, debido a que los fabricantes no están establecidos dentro del país, lo que implica largos tiempos de gestión, recepción y reparación de las plantas.

Para las inversiones futuras, una solución será la planeación y organización en el proceso considerando los planteamientos aquí propuestos. Con base en lo anterior se propone considerar en la inversión la compra de refacciones de reserva, así como la capacitación técnica de personal para el mantenimiento y reparación de las instalaciones.

El establecimiento de varias centrales de generación de energía con la misma solución técnica tiene la ventaja de que la operación y el mantenimiento (O & M) se puede brindar por una empresa local. Ésta se puede organizar a partir de personal capacitado y con una calendarización de mantenimiento a las plantas, así como el establecimiento de un almacén de refacciones.



## 7. RESUMEN

En este análisis se plantea desarrollar respuestas apropiadas para la inclusión del sector forestal al mercado de la generación de energía. Para ello, es importante considerar estudios sobre el potencial energético de la biomasa forestal existente y su proyección a largo plazo, así como las condiciones regulatorias del sector eléctrico, a partir de estas consideraciones se pueden desarrollar soluciones técnicas apropiadas y con resultados positivos en la implementación.

### Las principales conclusiones son las siguientes:

- Las soluciones técnicas se apoyan en consideraciones económicas. En las condiciones actuales del mercado se podrían colocar plantas de cogeneración con biomasa forestal con una potencia menor a 500 kW por sitio, con una inversión total aproximada de 35 MDP (2.3 MDD) por sitio, teniendo una amortización de entre 5 a 10 años.
- Los costos de la electricidad se calcularon con referencia a las tarifas que pagan los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales, las cuales varían entre \$1,500.00/MWh y \$2,200.00/MWh.
- El análisis se basa en la cantidad de biomasa forestal que existe en los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas como material disponible con un costo de \$0.00. Los centros de almacenamiento y transformación de materias primas forestales, comercializan principalmente diferentes especies de pino, éstos tienen un alto contenido de resina. El pino, por sus características fisicoquímicas presenta limitantes para procesos de gasificación debido a la presencia de alquitranes. Por esta razón en esta propuesta no se considera esta tecnología.
- Si el propósito inicial, es la generación de energía eléctrica y el consumo del calor residual no es la prioridad, por cuestiones de economía se recomienda la tecnología de turbinas de vapor o el establecimiento de un motor Stirling.
- Con el potencial total estimado de 700,000 tMS de biomasa forestal que existe en México, es posible establecer al menos 140 sistemas de generación en diferentes lugares para generar 450 GWh<sub>e</sub> y 2,100 GWh<sub>t</sub> en México.
- Las condiciones regulatorias y operacionales del nuevo esquema del sector energético aún no se han definido para desarrollar plenamente un proyecto de inversión.
- En particular las condiciones de acceso a la red, las cargas de la red, los impuestos, el diseño y la obligación de Certificados de Energías Limpias aún no se pueden detallar.
- Como un aspecto importante para una participación exitosa de las empresas forestales comunitarias en el mercado de la energía, es importante identificar esquemas de financiamiento aplicables a los proyectos de generación de energía, en este contexto, se recomienda desarrollar un acuerdo marco de suministro de electricidad a largo plazo, con la finalidad de asegurar la venta de los excedentes generados. Para ello es importante organizar y gestionar la asociación de las empresas forestales comunitarias que tengan o deseen instalar un sistema de generación de energía.
- En una etapa siguiente de los modelos conceptuales, se considera el desarrollo de un mercado para el uso del calor residual, mediante su incorporación a procesos industriales. El principio rector aquí es el establecimiento de un consumo eficiente de energía con fines comerciales. Esta eficiencia puede tener impactos económicos en los sistemas de generación de energía e impactos ambientales y sociales, como es el fomento del empleo en las comunidades.

## 8. RECOMENDACIONES

### 8.1 Modelo de negocios

Los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales proporcionan la biomasa forestal residual de forma “gratuita” lo que permite una generación de energía competitiva en términos económicos. En todo proceso, se debe garantizar la participación activa de los propietarios de los CAT, sobre todo para el funcionamiento de los sistemas de generación de energía. Esta participación activa, también implica el desarrollo de capacidades de organización, gestión y operación de los financiamientos.

### 8.2 Competitividad y Financiamiento

Tomando como referencia las características de los sitios propuestos en el modelo conceptual, los costos de electricidad oscilan entre \$1,500.00/MWh y \$2,200.00/MWh, lo cual les permite competir en el mercado. A partir de estos precios se puede calcular un periodo de amortización de 5 a 10 años para una inversión de 35 millones de pesos.

El factor de planta considerado para los centros de transformación de las materias primas forestales, es de 7,500 horas, de las cuales de acuerdo a las operaciones propias del centro de carga solo operan 1,000 a carga total, las 6,500 restantes pueden ser comercializadas. Debido a que el proyecto es a largo plazo, se deben buscar esquemas de comercialización a largo plazo.

Para un financiamiento sin recurso para generación de energías renovables, se deberán considerar los siguientes requisitos básicos:

- Duración del proyecto de al menos 20 años.
- Disponibilidad y seguridad de la biomasa forestal en cantidades suficientes y a precios previstos.
- Rentabilidad positiva de los proyectos.
- Acuerdo a largo plazo asegurando la compra de energía FIT (Feed in tariff, por sus siglas en inglés) o PPA (Power Purchase Agreement, por sus siglas en inglés).
- Ajuste por inflación de los ingresos.
- Acceso seguro a la red.
- Los permisos de construcción.
- Monto de la inversión.
- Contrato de operación y mantenimiento a largo plazo.
- Seguro de suministro, montaje y puesta en marcha de las plantas por un contratista general adecuado.
- El proyecto deberá tener las calificaciones necesarias para garantizar su viabilidad, rentabilidad, organización social y capacidad operativa.
- El objetivo principal es que las empresas forestales comunitarias participen directamente en el mercado energético, sin embargo en caso de no disponer de un financiamiento, la participación económica de las empresas se limita a la venta de biomasa forestal generando bajos ingresos. El planteamiento del financiamiento deberá estar planeado y enfocado a las prioridades del proyecto.

#### Recomendación:

- Desarrollo de un proyecto para un financiamiento estructurado o garantía de un financiamiento adecuado para la participación de las empresas forestales comunitarias.
- El tipo de financiamiento define las condiciones para la ejecución del proyecto. Por lo tanto, diseño del proyecto y la inversión debe estar orientado a las opciones de financiamiento.

### 8.3 Marco regulatorio

La viabilidad técnica de los proyectos y la competitividad de los precios de la generación de energía eléctrica a partir de la biomasa forestal residual generada en los centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales se ha planteado en los apartados anteriores.

Sin embargo, las condiciones regulatorias son actualmente muy poco claras. Los siguientes aspectos deben ser resueltos de manera concreta con la CRE y CENACE, según corresponda.

## Uso de la red

- La determinación de los requisitos de interconexión.
- Esquemas de tarifas para el porteo y la transmisión en la red eléctrica.
- En general, sólo se puede generar electricidad cuando la estabilidad de las redes no se vea comprometida. Esto puede implicar cortes de energía temporales o permanentes. Para el generador, esto da lugar a dos problemas:
  1. El operador no puede cumplir con sus obligaciones de entrega.
  2. El operador tiene una pérdida de ingresos para la cantidad no cobrados de electricidad.

## Recomendación:

- Las empresas forestales son capaces de suministrar electricidad para compensar al operador de la red de un suministro estable de 7,500 a 8,000 horas de carga completa.
- Para el diseño de un contrato de suministro de energía, el precio de la electricidad debe ser completado sin gastos de utilización de la red. Esto resolverá además las condiciones aplicables al contratista.

## Impuestos

- Los impuestos pueden tener efectos negativos en la economía del proyecto de generación de energía a partir de biomasa forestal.

## Recomendación:

- Básicamente, se requiere una rebaja de impuestos para las energías renovables en general, la experiencia ha demostrado que es muy eficaz, pero es necesario aumentar la expansión de las energías renovables para gravar las pérdidas para el Estado. Probablemente se requiere un estímulo fiscal para diferentes consumidores que utilizan electricidad a partir de fuentes renovables.
- Un contrato a largo plazo debe incluir necesariamente un precio sin impuestos. Los impuestos se proyectan de acuerdo con los tratamientos fiscales correspondientes, además de ser remunerados por la parte contratante.

## Certificados de CO<sub>2</sub>

- Todos los generadores de electricidad que producen energía “limpia” amigable con el medio ambiente a partir de fuentes de energías renovables son acreedores a certificados de energías limpias los cuales serán negociables. Los certificados al ser negociables, pueden considerarse como ahorro de costos o posibles ingresos adicionales.
- Se debe conocer las reglas de operación del mercado para la acreditación y comercialización de los certificados de energías limpias. Se debe tomar en cuentas los criterios para la estimación del número de toneladas de CO<sub>2</sub>e por MWh que se mitigan de acuerdo a las diferentes fuentes renovables, por ejemplo, con la energía solar, energía eólica, energía de la biomasa, etc. Por otra parte se debe conocer las bases que determinan la fijación de precios.
- En el ámbito internacional, existen diferentes esquemas de comercialización de certificados de energías limpias, las cuales pueden servir de referencia para su aplicación en la generación de energía limpia a partir de biomasa forestal.

## Recomendación:

- Para los sistemas de generación a partir de biomasa forestal de las empresas forestales comunitarias, la generación y venta de certificados de energías limpias representa puede representar ingresos económicos considerables.

## 8.4 Acuerdo de compra de energía (PPA)

- Las empresas forestales comunitarias no tienen una estructura adecuada para participar con éxito en el mercado mayorista de electricidad. Sin embargo, actualmente la operación del mercado aún está en desarrollo, de tal manera que aún hay falta de conocimiento de sus operaciones, requisitos, condiciones y tarifas que permitan hacer un planteamiento de comercialización de electricidad. Sin embargo, se buscaran condiciones favorables para participar en dicho mercado.
- Las empresas forestales comunitarias pueden obtener financiamiento, si logran asegurar de forma directa las ventas de electricidad a largo plazo.
- De acuerdo con el diseño actual del mercado de la energía no habrá un sistema de incentivos (FIT). Por lo tanto, queda a negociar un suministro a largo plazo para las empresas forestales comunitarias.

### Recomendaciones:

- El contrato de suministro de electricidad a largo plazo (20 años) debe estar propuesto de tal manera que facilite las condiciones para acceder al financiamiento de proyectos.
- Se deben buscar escenarios que aseguren la venta de la energía, los contratistas pueden ser las instituciones de gobierno, o el CENACE como operador del Sistema Eléctrico Nacional.
- Las empresas forestales en operación a carga completa consumen menos de 7,500 horas por año. Esto puede ser una ventaja como generador exento.
- Si se propone un proyecto de generación de energía a partir de biomasa forestal a mayor escala, entre 5 a 100 MW, para este planteamiento se propone un periodo de al menos 10 años (2018-2028) para su planeación y establecimiento. Se espera que este tamaño del proyecto facilite la estructuración del financiamiento.
- A partir de esta propuesta, la generación y el suministro de energía se garantizan por un periodo de 20 años. Se puede entregar anualmente al menos 7,000 horas de energía a una carga total. Para una capacidad instalada de 100 MW, se requiere de un volumen anual de 150,000 a 200,000 tMS (20% - 25% del potencial disponible en México).
- El diseño y condiciones de los diferentes contratos son de relevancia, ya que debe de tenerse en cuenta todos los posibles escenarios de pérdidas y ganancias.
- El acuerdo marco deberá incluir a todas las empresas forestales comunitarias interesadas, para que al final se pueda alcanzar un tamaño suficiente del proyecto.

## 8.5 Organización

El planteamiento y organización de los proyectos es crucial para el financiamiento de los mismos. Los aspectos clave en el planteamiento y la organización son:

- Diseño y tamaño del proyecto (La economía en las tecnologías de acuerdo al tamaño del sistema, mejoran las condiciones de acceso a los mercados y reduce los costos de administración).
- Construcción de una organización profesional para la operación y mantenimiento (compras a menor costo y disponibilidad de las refacciones, personal capacitado y especializado, la compensación económica está basada en el rendimiento).
- Establecimiento y gestión de una empresa vehículo SPV (Special Purpose Vehicle, por sus siglas en inglés) para la organización y desarrollo del proyecto.

### Recomendación:

- Establecimiento de una empresa común, que integre todos los proyectos de las empresas forestales comunitarias interesadas en conseguir apoyos para acceder al mercado energético. Posteriormente se debe considerar el establecimiento de una empresa encargada de la operación y el mantenimiento de las instalaciones (Figura 20).

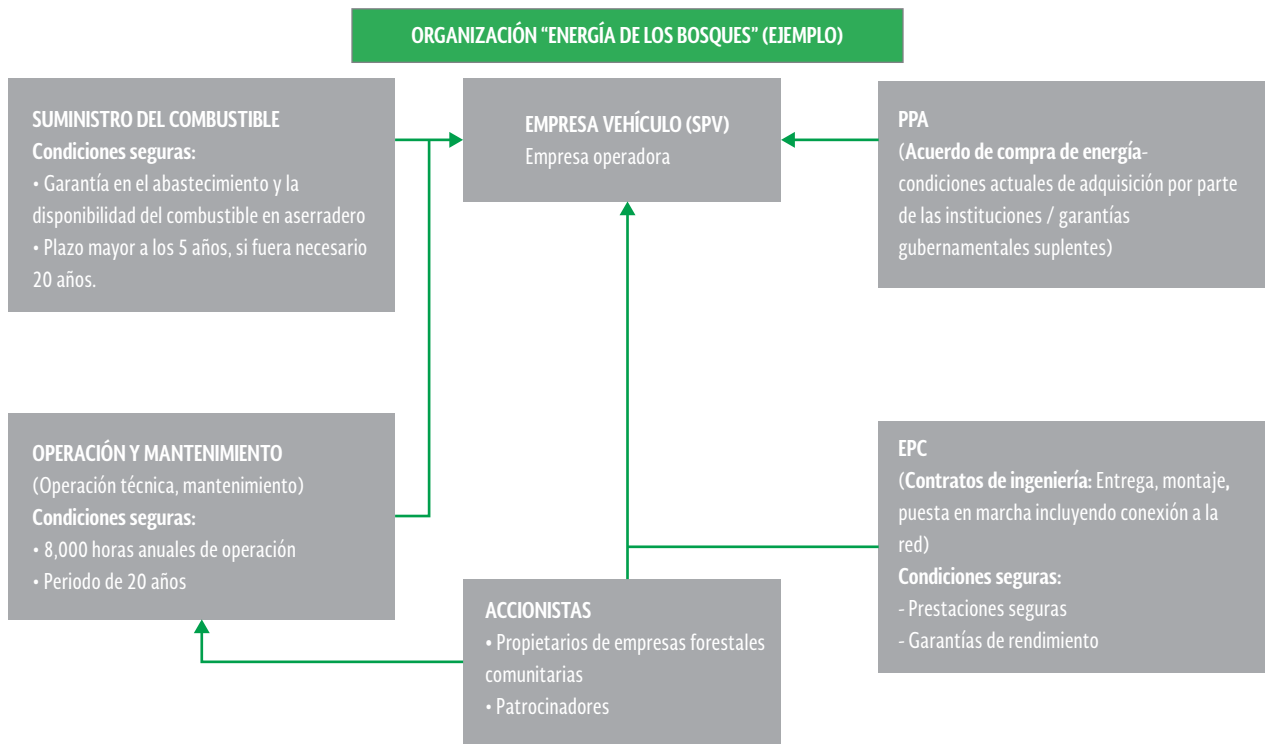


Figura 20. Organización de los bosques. Fuente: Trigenius.

## 8.6 Conceptos de utilización de calor

- En la producción de electricidad con una planta de cogeneración de biomasa forestal, además de la electricidad producida se genera un 60% de calor residual. Los diseños propuestos consideran un potencial de 15,000 MWh por un sistema de generación de energía. El porcentaje utilizado de calor será determinante de manera significativa respecto de las ganancias o pérdidas económicas. Al planificar las centrales eléctricas se deben considerar necesariamente procesos térmicos y en consecuencia la generación de calor. Si existe una baja demanda de calor en los centro de almacenamiento y transformación de materias primas forestales, el desarrollar un concepto para su utilización es complejo.

### Recomendación:

- Dentro de la planificación del sistema de generación eléctrica, se deberá considerar el uso del calor residual para cada sitio, y los costos estarán en un rango de \$100/MWh<sub>t</sub> hasta \$200/MWh<sub>t</sub> dependiendo de sus usos.
- En primer lugar, se considera el uso en estufas de secado de madera, las cuales utilizan agua caliente para sus procesos.

## 8.7 Residuos forestales derivados del aprovechamiento forestal y el uso de diámetros pequeños

- El potencial de la biomasa forestal localizada en los bosques es considerable para su aprovechamiento, sin embargo el esfuerzo logístico para transportar este material a un centro de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales es alto. Por esta razón, la utilización de los diámetros pequeños se puede plantear a largo plazo, una vez que Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad (ENAIPROS) tenga resultados efectivos.
- La madera en rollo tiene un costo de aproximadamente entre \$250/m<sup>3</sup> y \$420/m<sup>3</sup> colocada en brecha, sin considerar los gastos de transporte, adicionalmente se debe considerar el astillado de la madera como parte de la preparación del combustible, el cual representa costos adicionales entre \$150/tMS y \$300/tMS.



### Recomendación:

- Este potencial se considera a futuro, sobre todo desde una perspectiva de aprovechamiento en grandes volúmenes de diámetros pequeños, se deben de buscar incentivos que faciliten del desarrollo de plantas de producción de pellets, astillas o briquetas.

## 8.8 Modelo de proyecto

- El marco regulatorio en el sector energético aún no está en operación formal. Antes diseñar un proyecto con fines comerciales, es necesario diseñar un proyecto piloto sin fines de comercializar la energía, con la finalidad de plantear las condiciones técnicas y económicas que puedan aplicarse en la práctica.

### Recomendación:

- Desarrollo de un proyecto piloto financiado en su totalidad para valorar la implementación técnica, el funcionamiento de la red y las adecuaciones al marco regulatorio.
- El personal técnico de los proyectos piloto deben estar capacitado. De lo contrario, los trabajos de mantenimiento y reparación pueden ser limitantes en los tiempos de operación del sistema.
- Los proyectos pilotos se pueden equipar con un motor Stirling, debido a que su instalación es muy práctica, ya que se puede adaptar a las calderas de la biomasa forestal existentes en algunos centros de almacenamiento y transformación de las materias primas forestales.

## 8.9 Estudios a realizar

A continuación se mencionan algunos estudios necesarios para la implementación de proyectos de generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal:

- Estudio sobre el financiamiento de proyectos para el aprovechamiento de la biomasa forestal.
- Desarrollar un concepto de modelo de generación de energía eléctrica para industrias forestales.
- Estudio sobre el diseño de las adecuaciones al marco regulatorio en donde se consideran el acceso a la red, los cargos, los impuestos y los certificados energía limpia.
- Diseño de la propuesta de contrato “marco” para el suministro de electricidad por las empresas forestales comunitarias (este contrato está considerado para la comercialización de la energía eléctrica que se genera a partir de biomasa forestal).
- Diseño de un proyecto piloto.
- Valoración para el uso de energía térmica.





# TERMINOLOGÍA

**Calidad de la Energía:** Condición en que la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos de los Centros de Carga con las características y condiciones adecuadas, que les permita mantener su operación continua, sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes.

**Central Eléctrica:** Instalación y equipo que, en un sitio determinado, permiten generar energía eléctrica y productos asociados.

**CENACE:** Centro Nacional de Control de Energía.

**Centro de Carga:** Instalaciones y equipos que, en un sitio determinado, permiten que un Usuario Final reciba el Suministro Eléctrico. Los Centros de Carga se determinarán en el punto de medición de la energía suministrada.

**CRE:** Comisión Reguladora de Energía

**Conexión:** Enlace de un Centro de Carga a la Red Nacional de Transmisión o a las Redes Generales de Distribución.

**Distribuidores:** Los organismos o empresas productivas del Estado o sus empresas productivas subsidiarias, que presten el Servicio Público de Distribución de Energía Eléctrica.

**Estudios de Conexión:** Conjunto de estudios que se llevan a cabo para determinar las obras y refuerzos necesarios para la Conexión de un Centro de Carga siendo los siguientes: Indicativo, Impacto en el Sistema, Instalaciones e Impacto en el Sistema y Calidad del Servicio.

**Estudios de Interconexión:** Conjunto de estudios que se llevan a cabo para determinar las obras necesarias para la interconexión de una Central Eléctrica, siendo los siguientes: Indicativo, Impacto en el Sistema e Instalaciones.

**Estudio Indicativo:** Estudio que muestra de manera preliminar, la viabilidad para la Conexión o Interconexión a la RNT o a las RGD, donde se señalan las posibles restricciones y las obras que se requieren, con base en la solución técnica más eficiente, para mantener la confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional.

**Estudio de Impacto en el Sistema:** Estudio donde se considera, para la Interconexión, el modelo a detalle del tipo de Central Eléctrica y sus controles, y para la Conexión, el modelo a detalle de la carga, con el objeto de ratificar o rectificar las posibles restricciones y las obras que se requieren, con base en la solución técnica más eficiente y con la finalidad de mantener la confiabilidad del Sistema Eléctrico Nacional.

**Estudio de Impacto en el Sistema (Versión Rápida):** Estudio similar al Estudio de Impacto al Sistema, que aplica únicamente para el caso de Centrales Eléctricas pequeñas (de 0.5 a 10 MW), cuyo impacto en la red permite que el estudio se pueda realizar en un tiempo menor.

**Estudio de las Instalaciones:** Estudio que permite determinar las características de los Elementos y Equipos, así como los costos estimados de las obras necesarias para la Interconexión de la Central Eléctrica o la Conexión de Centros de Carga hasta el Punto de Interconexión o de Conexión, según corresponda, así como de los refuerzos necesarios en la RNT o las RGD, asociados a cada proyecto.

**Estudio de Impacto en la Calidad del Servicio:** Estudio que aplica para Centros de Carga Especiales que se va a conectar a la RNT o las RGD, para estimar la afectación en la Calidad de la Energía del resto de los usuarios, ya sea por la variabilidad de su proceso o por su alto contenido armónico.

**Fuente de Energía Distribuida (FED):** Fuente de energía eléctrica que no está directamente conectada a los grandes sistemas de transmisión. Las fuentes incluyen generadores y tecnologías de almacenamiento de energía.

**Fuente de Energía Distribuida en Pequeña Escala:** Es una fuente de energía distribuida que es interconectada al sistema eléctrico nacional con tensiones menores a 1 kV y en potencias menores o iguales a 30 kW.

**Generación Distribuida:** Generación de energía eléctrica que cumple con las siguientes características: a) Se realiza por un generador exento en los términos de esta ley, y b) Se realiza en una Central Eléctrica que se encuentra interconectada a un circuito de Distribución que contenga una alta concentración de Centros de Carga, en los términos de las Reglas del Mercado.

**Generador Exento:** Propietario o poseedor de una o varias Centrales Eléctricas que no requieren ni cuenten con permiso para generar energía eléctrica.

**Generación Neta:** Generación total producida por una Central Eléctrica, menos el consumo de las cargas auxiliares que se requieren para el funcionamiento de la central y que es medida en el Punto de Interconexión.

**Interconexión:** Enlace de un Central Eléctrica a la Red Nacional de Transmisión o a las Redes Generales de Distribución. El Término también se refiere a los procesos relativos al Incremento de Capacidad o Cambio del punto de Interconexión para una Central Eléctrica existente.

**Isla:** Condición en la cual una porción del sistema eléctrico nacional es energizado únicamente por uno o más sistemas eléctricos locales a través de los puntos de interconexión mientras que esta porción del sistema eléctrico nacional está eléctricamente separado del resto del SEN.

**Isla intencional:** Una condición de operación en isla planeada.

**Isla no intencional:** Condición de operación en isla no planeada.

**LIE:** Ley de la Industria Eléctrica.

**Mercado Eléctrico Mayorista:** Mercado operado por el CENACE en el que los Participantes del Mercado podrán realizar las transacciones señaladas en el artículo 96 de la Ley de la Industria Eléctrica.

**Obras para la Interconexión o Conexión:** Obras que se requieren para llevar a cabo la Interconexión o Conexión, desde la Central Eléctrica o Centro de Carga hasta el Punto de Interconexión o Conexión con la Red Nacional de Transmisión o de las Redes Generales de Distribución, incluyendo las ampliaciones y modificaciones que se requieran para poder integrar el proyecto al Sistema Eléctrico Nacional, las cuales son responsabilidad del Solicitante.

**Punto de Interconexión:** El punto en donde se delimitan las fronteras operativas y de responsabilidad entre el Transportista o Distribuidor y una Central Eléctrica.

**Red Nacional de Transmisión (RNT):** Sistema integrado por el conjunto de las Redes Eléctricas que se utilizan para transportar energía eléctrica a las Redes Generales de Distribución y al público en general, así como las interconexiones a los sistemas eléctricos extranjeros que determine la Secretaría.

**Redes Generales de Distribución (RGD):** Redes Eléctricas que se utilizan para distribuir energía eléctrica al público en general.

**Reglas de Mercado:** Conjuntamente, las Bases del Mercado Eléctrico y las Disposiciones Operativas del Mercado, que rigen al Mercado Eléctrico Mayorista.

**Red Eléctrica:** Sistema integrado por líneas, subestaciones y equipos de transformación, compensación, protección, conmutación, medición, monitoreo, comunicación y operación, entre otros, que permiten la transmisión y distribución de energía eléctrica.

**Sistema Eléctrico Nacional o SEN:** El sistema integrado por la Red Nacional de Transmisión, las Redes Generales de Distribución, las Centrales Eléctricas que entregan energía eléctrica a la Red Nacional de Transmisión o a las Redes Generales de Distribución, los equipos e instalaciones del CENACE utilizados para llevar a cabo el Control Operativo del Sistema Eléctrico Nacional y los demás elementos que determine la Secretaría.

**Sistema Eléctrico Local (SEL):** Sistema eléctrico contenido enteramente dentro de uno o varios recintos y que no pertenece al Sistema Eléctrico Nacional.

**Solicitante:** Persona física o moral que solicita Estudios de Interconexión o de Conexión.

**Solicitud de Interconexión:** Solicitud que se realiza al CENACE para que se lleven a cabo los estudios que se requieren para la Interconexión de una Central Eléctrica.

**Transportista:** Los organismos o empresas productivas del Estado, o sus empresas productivas subsidiarias, que presten el Servicio Público de Transmisión de Energía Eléctrica o ya sea local o nacional.

## BIBLIOGRAFIA

1. Masera, O.R., Aguillón J. y Gamiño B, 2005. Estimación del recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa como Energético Renovable en México. Estudio prospectivo del Sector Energético. Secretaria de Energía. Anexo 2.
2. Atlas Mexicano de Biomasa 2013.
3. Balance Nacional de energía 2013/ Inventario Nacional de Energías Renovables.
4. Carrillo Ávila, N., Fuentes López M.E., Aguilar Sánchez P. 2012. Uso de los residuos forestales en la producción de bioenergía. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, (INIFAP).
5. Díaz, R. y O. Masera. 2003. Uso de la leña en México: situación actual, retos y oportunidades. Balance Nacional de Energía. Secretaría de Energía, México D.F.
6. Díaz, R., 2000. Consumo de leña en el sector residencial de México. Evolución histórica y emisiones de CO<sub>2</sub>, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México D.F., México, pp. 113.
7. SEMARNAT. 2006. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2004. México, MX, SEMARNAT. 153 p.
8. McKendry, P. 2002. Energy production from biomass (Part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*. 83:37-43.
9. Fernandes, U. and Costa, M. 2010. Potencial of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal. *Biomass and Bioenergy*. 34:661-666.
10. The Pembina Institut. 2010. Evaluación de la madera, la biomasa y el carbono de Bosques y las tecnologías potenciales de producción de energía a partir de Biomasa en Durango, México.
11. E. Riegelhaupt. Biomasa forestal para energía. 2014.
12. Kam W. Li & Paul Priddy, *Power Plant System Design*, John Wiley & Sons, 1985, p. 98.
13. U.S. Energy Information Administration, *Updated Capital Cost Estimates for Electricity Generation Plants*, 2010, p.35.
14. Ley de la Industria Electrica.:<http://cdn.reformaenergetica.gob.mx/2-ley-de-la-industria-electrica.pdf>
15. Statista GmbH, "Primärenergieverbrauch in Mexiko in den Jahren 1998-2013", 2015.



**MIXTO**  
Papel procedente de fuentes responsables  
**FSC-C011032**



# SEMARNAT

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES

**SENER**  
SECRETARÍA DE ENERGÍA



Al servicio  
de las personas  
y las naciones

EJEMPLAR GRATUITO PROHIBIDA SU VENTA [www.gob.mx/conafor](http://www.gob.mx/conafor) 01800 73 70 000

Comisión Nacional Forestal

@CONAFOR

conaforgob