

# Valorización económica del potencial energético de la **biomasa forestal** en la Región Huetar Norte de Costa Rica



Diciembre, 2019

RESUMEN EJECUTIVO



El proyecto “Mecanismos y Redes de Transferencia de Tecnología relacionada con el Cambio Climático en América Latina y el Caribe”, preparado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), fue aprobado por el Consejo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) el 11 de septiembre de 2014 y por el directorio del BID el 17 de diciembre del mismo año.

El objetivo del proyecto es promover el desarrollo y transferencia de tecnologías ambientalmente racionales (EST, por sus siglas en inglés) en países de América Latina y el Caribe (ALC), con el fin de contribuir a la meta final de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático (CC) en sectores específicos de la región.

## **Financiadores**

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Consejo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF,  
por sus siglas en inglés)

## **Ejecutores**

Biomatec

Fundación Bariloche

## **Para**

Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE)

Secretaría Planificación Subsector Energía (SEPSE)

Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO)

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.

San José, diciembre 2019

**Autores principales**

Cindy Torres Quirós

Marco Chaves Flores

Luis Urvina Savelli

Edwin Vega Araya

José María Blanco

Ernesto González Prado

Pablo Mora Rojas

Kattia Benavides Morales

Orlando Vega Quesada

**Coordinación técnica y aportes**

Renato Oña Pólit, Coordinador de Energía Renovables, Fundación Bariloche

Hilda Dubrovsky, Vicepresidenta Ejecutiva, Fundación Bariloche

## Resumen ejecutivo

El uso de la biomasa forestal como fuente de energía limpia y renovable es una opción interesante para disminuir el consumo de otras fuentes energéticas de origen fósil, que provocan altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros efectos no deseados para el ambiente. En este informe, se presentan tres modelos de negocio para el aprovechamiento energético de la biomasa forestal en la Región Huetar Norte (RHN) de Costa Rica, la cual aporta aproximadamente el 13 % de la madera en rollo y el 19 % de la madera aserrada de la economía nacional. Estas estadísticas apoyan la idea de que esta región representa una porción significativa del sector forestal nacional, y de que, por lo tanto, el éxito de modelos de negocio innovadores que generen valor agregado a la actividad productiva permeará en el sector como una estrategia clave para su reactivación económica.

Previo a proponer modelos de negocio específicos para la región de estudio, se estudiaron y compararon, experiencias similares acaecidas en otros lugares del mundo. Para ese propósito, se analizaron los casos de cuatro países: Estados Unidos, Finlandia, Uruguay y Honduras. La exploración realizada se enfocó en aspectos tales como los esquemas nacionales de gobernanza en materia de energía y cambio climático, el marco legal y político de cada país en esas materias, los incentivos gubernamentales a las energías renovables, y los principales modelos de negocio relacionados con combustibles biomásicos que se encuentran en operación en cada país.

Un hallazgo importante de esta etapa fue que, en cada uno de los países analizados, el diseño e implementación de políticas de cambio climático había permeado las políticas energéticas, principalmente en materia de fortalecimiento de la seguridad energética y de sustitución de combustibles derivados del petróleo. Esto dio impulso a la explotación de fuentes de energía renovables y renovables no convencionales, como la biomasa. Además, por parte de los gobiernos centrales, han sido propuestos incentivos a la generación y uso de energía a partir de fuentes renovables. En el caso de la biomasa, entre dichos incentivos se encuentra el ingreso de las empresas productoras de energía a partir de biomasa al régimen de zonas francas, lo cual ha conllevado un tratamiento fiscal favorable y beneficios tributarios a largo plazo, según el tipo de proyecto o inversión.

Con respecto a modelos de negocio relacionados con la generación de energía a partir de biomasa, para cada país en estudio, se logró identificar entre uno y tres de ellos. En el caso de Estados Unidos, el modelo de negocio identificado más relevante para este estudio, está relacionado con la producción y venta de biomasa densificada para clientes transfronterizos. En los casos de Finlandia, Uruguay y Honduras, por otra parte, se determinó la existencia de un tipo de negocio que se desarrolla de manera previa a la generación de energía a partir de biomasa, y cuyo fin, en la mayoría de los casos, es la producción y el procesamiento de las materias primas a partir de las cuales la energía es eventualmente generada. Otros hallazgos de interés fueron los siguientes:

- En Finlandia, el aprovechamiento de energía a partir de biomasa es complementario a otras actividades productivas del país, como la producción de celulosa. Ha sido mediante la articulación de intereses que Finlandia ha alcanzado una posición de liderazgo en tendencias y negocios basados en economía circular, y esta articulación no se ha limitado al plano nacional: la política exterior colabora fuertemente para alinear los programas y metas de Europa con las fortalezas de Finlandia. De esta manera, se ha logrado captar fondos para impulsar las metas y programas nacionales.

- En Uruguay, inicialmente el nivel de participación de recurso humano y el know-how de origen nacional fueron muy bajos, pues la tecnología se importó de países europeos y se adaptó al entorno uruguayo, y todo el sector de renovables necesitó de capacitación y especialización. A pesar de esto, los proyectos han producido grandes impactos socioeconómicos en las regiones en que se han instalado, a la vez que han generado energía limpia y renovable, y, en cierta escala, han logrado la propagación del conocimiento en tales regiones.
- En Honduras, la biomasa constituye la fuente del 43 % del total de la electricidad producida en el país, el 10,8 % de la matriz primaria del país, y el 84 % de la energía térmica que se consume a nivel residencial. Ahora bien, aunque existen políticas que promueven el uso de energías renovables, no existen políticas específicas para el aprovechamiento de biomasa forestal. Además, gran parte de los proyectos de generación con biomasa son de capital extranjero, por lo cual el acceso a talento propio es limitado, es así como el diseño y el conocimiento es liderado por terceros y no los hondureños.

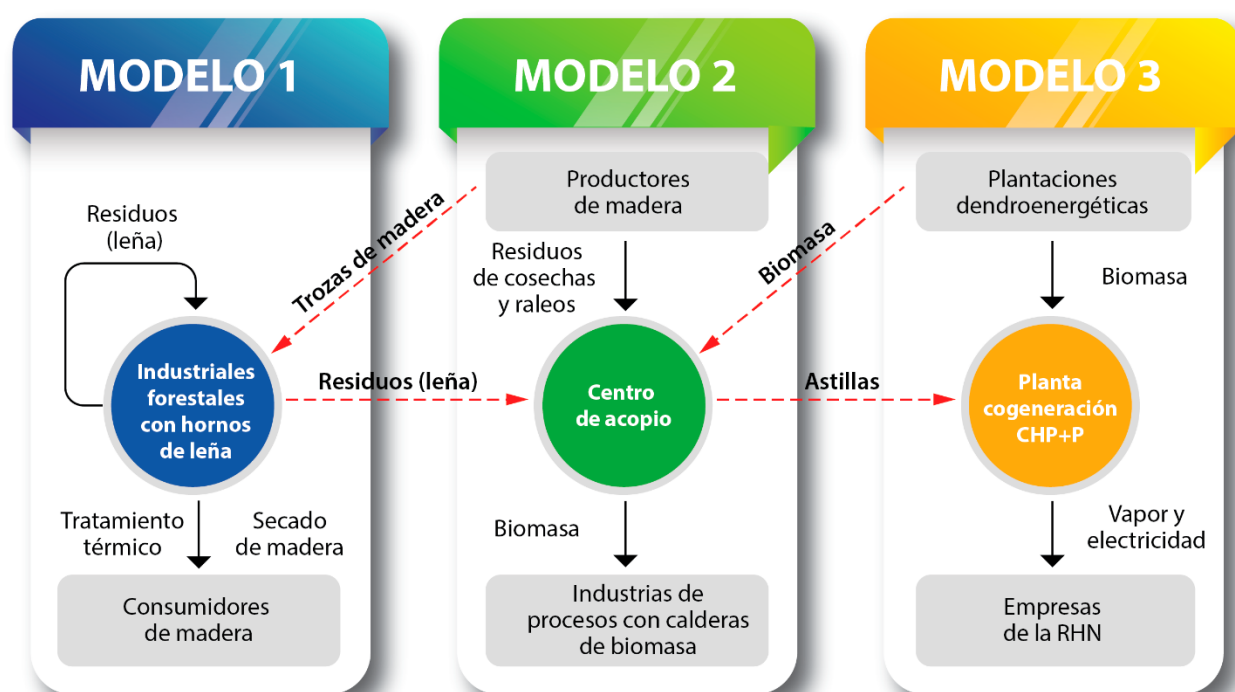
Con las lecciones aprendidas en mente, se procedió a estudiar qué sucede en la RHN de Costa Rica. En esa región, la generación de residuos biomásicos forestales comprende el accionar de dos grupos que conforman al sector forestal, las industrias forestales y los productores de madera (reforestación, sistemas agroforestales y con permisos de manejo de bosques naturales). El primer grupo, compuesto por los aserraderos fijos, aserraderos portátiles y mueblerías, genera subproductos con potencial energético como la leña, el aserrín y la borucha. El segundo genera residuos a través de las cosechas y los raleos.

Entre 2015 y 2018, se registró una reducción de aproximadamente 46 % en la oferta total de biomasa forestal residual en la región como subproductos de industrias forestales, lo que sugiere una tendencia preocupante a la baja. Además, la RHN presenta altos niveles de desempleo: para el primer trimestre de 2019, el porcentaje promedio de desempleo en esta región fue 8.5 % mayor que el nacional. Sin embargo, existe una cartera de proyectos que han sido planteados por el gobierno nacional, los gobiernos locales y empresas privadas, que permitirían impulsar la reactivación económica de la RHN con nuevos puntos de consumo que demandarían energía tanto eléctrica como térmica.

En torno a estos proyectos, se podrían generar nuevos encadenamientos productivos para fortalecer al sector forestal y aportar, de forma directa e indirecta, al sector de comercio, transporte, energía, industria y banca de la región. De esta manera, la reactivación de esta zona tendría un efecto positivo sobre toda la cadena de valor asociada a la venta de madera, sirviendo de ejemplo para reactivar otras regiones socioeconómicas del país en materia forestal. Ahora bien, en la RHN, la oferta total de biomasa forestal en forma de subproductos de industrias forestales fue de 51 487 toneladas húmedas en el 2018, equivalentes a 466 TJ. El 69 % de estos residuos se concentraron en San Carlos. Sin embargo, solo el 29,24 % de la oferta total de residuos de industrias forestales (15 054 toneladas húmedas, equivalentes a 80 TJ) se encuentra disponibles para su inserción en el mercado energético, ya sea en la RHN o fuera de ella. Con respecto a los residuos de las industrias forestales disponibles, y con base en la encuesta realizada al sector, actualmente éstos son regalados, o bien, se desperdician.

Ahora bien, en la actualidad, la oferta de residuos de cosechas y raleos, que gestionan los productores de madera, no es valorizada en el mercado de biomasa para fines energéticos, y gran parte de ella se descompone in situ. Por lo tanto, luego de un proceso de geolocalización

de todas las fuentes de biomasa forestal residual empleando Sistemas de Información Geográfica y del análisis de la información obtenida luego de las encuestas a los actores e industrias del sector forestal, se cuantificó una oferta total de 114 250 toneladas húmedas para 2018, lo cual representa 608 TJ de energía primaria<sup>1</sup>. Por otro lado, la demanda energética (combustibles fósiles y electricidad) de las industrias más importantes de la RHN contactadas para este estudio se estima en 622 TJ/año. Dentro de esta demanda, el búnker posee una participación de aproximadamente 475 TJ/año. Por lo tanto, como principal resultado de este estudio, se identificaron tres oportunidades estratégicas a desarrollar en la RHN, con diferentes alcances y niveles de impacto ambiental y socioeconómico en la región, y que constituyeron la base de los tres modelos de negocios propuestos. El objetivo de estos modelos es el aprovechamiento energético de la biomasa residual con el fin de reducir el impacto financiero y ambiental de las operaciones del sector forestal, industrial y energético de la RHN. En la Figura A, se describen estos tres modelos de negocio y cómo interactúan entre sí.



**Figura A.** Descripción básica de los modelos de negocio propuestos. Líneas negras las sinergias entre modelos. Fuente: elaboración propia.

El primer modelo de negocio identificado (M1) tiene un alcance delimitado a las industrias forestales (aserraderos y mueblerías), las cuales podrían agregar valor a sus productos con la inclusión de procesos de secado o tratamientos térmicos de la madera. El uso de hornos de leña puede resultar rentable técnica y financieramente como parte de este modelo, pues se trata de sistemas que implican menores costos operativos. En estos casos, el principal ahorro se

<sup>1</sup> Para el cálculo de la energía primaria asociada a todas las fuentes de biomasa forestal, se utilizaron los poderes calóricos inferiores al respectivo contenido de humedad que se encuentran en condiciones normales. Al emplear esta metodología se estima el valor real de energía asociada y disponible. Por lo que la tolerancia de humedad de la biomasa que puede ingresar a los distintos sistemas de aprovechamiento térmico es clave para determinar los requerimientos en secado de la biomasa, ya sea con fuentes externas o con sistemas de recuperación de calor.

encuentra en el consumo del combustible para el horno, ya que este funcionaría con los residuos de leña que en el mismo aserradero son generados como subproductos. En comparación con el uso de LPG, su uso como combustible implicaría ahorros entre el 40 % - 80 %, dependiendo del tamaño de la industria.

Se realizó una evaluación financiera para las industrias de la zona que mostraron interés en M1, y se obtuvo que para siete de las 15 interesadas resultaría rentable la instalación de un horno de leña para secado de madera, y para una industria resultaría rentable la instalación de un horno de leña para el tratamiento térmico de madera para embalaje. Para estos ocho hornos, se estimó una inversión total de aproximadamente 169 188 USD, un periodo de pago de dos años y un mes (en promedio), una tasa interna de retorno (TIR) promedio del 40 %, y, en todos los casos, un valor actual neto (VAN) mayor a los 3 000 USD. En cuanto a indicadores socioeconómicos, este modelo propiciaría la generación de 10 nuevos empleos en el sector. A nivel ambiental, se evitarían 1 874 ton CO<sub>2</sub>/año, y a nivel energético se generarían 30 TJ/año de energía limpia. Estos indicadores se detallan el Cuadro A, y son tratados con mayor profundidad en el Capítulo 5.

**Cuadro A.** Indicadores del modelo de negocio de implementación de hornos de leña en aserraderos (M1).

Rubro	Modelo 1. Hornos de leña
Inversión total (USD)	169 188
Período de Pago (PP) (años)	2 años y 1 mes (promedio)
Tasa Interna de Retorno (TIR)	40% (promedio)
Valor Actual Neto (USD)	>\$3 000
Nuevos empleos en el sector	10
Emisiones de GEI evitadas (ton CO <sub>2</sub> /año)	1874
Energía limpia generada (TJ/año)	30

Fuente: elaboración propia.

El segundo modelo de negocio planteado (M2) se enfoca en la sustitución de calderas de búnker por calderas de biomasa forestal en las industrias de procesos de la región, lo cual les permitiría reducir el costo de producción de vapor. Este caso involucraría la creación de un agente clave en la cadena de valor: un centro de acopio, que sería un proveedor adicional de biomasa en forma de astillas de madera en la región. El uso de astillas de madera como combustible para las calderas fue estudiado con base en un análisis de costo/beneficio, en el cual fueron considerados aspectos como la capacidad energética, generación de GEI y costos de transporte asociados, frente a la posibilidad del uso de pellets de madera o búnker como combustible (Apartado 4.2.3).

El modelo de negocio M2 implica la compra de los residuos de cosechas y raleos de los productores de madera de la RHN por parte de este centro de acopio, el cual se encargará de transformar dichos residuos en astillas de madera adecuadas para su uso como combustible en las calderas de biomasa instaladas en las industrias de procesos de la región. Se realizó una evaluación económica de este modelo desde las diferentes perspectivas de los tres principales actores involucrados en el modelo de negocio: industrias de procesos, centro de acopio y productores de madera.

En primera instancia, con respecto a las industrias de procesos, se analizó la sustitución de dos calderas de búnker con capacidades de 400 bHP (3.92 MWt) y 800 bHP (7.84 MWt), respectivamente. La inversión inicial se estimó en 2 460 442 USD para una caldera de biomasa de



400 bHP, y en 3 183 870 USD para una de 800 bHP. Para el caso de la caldera de 400 bHP, se obtuvo un periodo de pago de dos años y cuatro meses, una TIR del 41 % y un VAN de 3 383 923 USD. Por otra parte, para la caldera de 800 bHP, el periodo de pago es de un año y cinco meses, la TIR es del 72 % y el VAN es 9 379 431 USD.

Para el caso del centro de acopio, encargado de la compra, transformación y venta de la biomasa, se obtuvo como indicadores financieros una inversión inicial de 3 234 776 USD, un periodo de pago de tres años y cinco meses, una TIR del 22 % y un VAN de 2 721 874 USD, contemplando un precio de venta de las astillas en 50 USD/ton. Finalmente, para los proveedores de la materia prima del centro de acopio, que son los productores de madera con plantaciones forestales, quienes venderían los residuos de sus cosechas y raleos, requieren de una inversión inicial de 655 USD/ha, con un periodo de pago de diez años, una TIR del 31 % y un VAN de 1 665 USD/ha, esto considerando un precio de venta del residuo de 16 USD/ton. El detalle de estos tres estudios financieros se observa en el Cuadro B. y sus estimaciones se detallan en el Capítulo 5.

**Cuadro B.** Indicadores del modelo de negocio de sustitución de calderas de búnker por calderas de biomasa forestal (M2).

Actores dentro del Modelo 2	Inversión total (USD)	Periodo de pago (años)	Tasa interna de retorno (TIR)	Valor actual neto (USD)	Emisiones GEI evitadas (ton CO <sub>2</sub> /año) <sup>2</sup>	Nuevos empleos en sector forestal	Energía limpia gestionable generada (TJ/año)
Sustitución de calderas de búnker 400 bHP-vapor (3.92 MWt) en empresa de procesos	2 460 442	2 años y 4 meses	41 %	3 383 923	11 671	48	113
Sustitución de calderas de búnker 800 bHP-vapor (7.84 MWt) en empresa de procesos	3 183 870	1 año y 5 meses	72 %	9 379 431	23 345	97	226
Centro de acopio	3 234 776	3 años y 5 meses	55 %	2 721 874			
Productores de madera con plantaciones forestales	655 USD/ha	10 años	31 %	1665 USD/ha			

Fuente: elaboración propia.

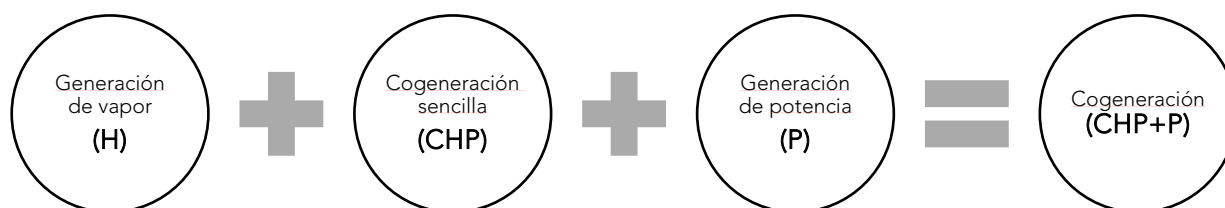
Para el éxito del último eslabón de la cadena de valor del M2, se consideran como condiciones habilitadoras necesarias (o sea, que no existen en la actualidad y que requieren ser complementadas) la comercialización de los residuos de cosechas y raleos y la creación de más de un centro de acopio. Estos centros deberán tener una ubicación idónea que les permita estar cerca tanto de las plantaciones como de las empresas de procesos, de tal manera que el transporte de la biomasa resulte rentable. Este factor -el transporte- es el determinante del éxito financiero del modelo.

El M2 presenta un mayor impacto, ya que implica la creación de varios componentes de la cadena de valor necesarios para su sostenibilidad, y esto generaría más empleos directos e indirectos. Se estima la creación de 145 empleos directos en silvicultura en tareas de extracción y comercialización de residuos; con estos empleos se facturaría un total aproximado de 1 063 684 USD al año, según un análisis de encadenamientos productivos. Este modelo, además, podría desarrollarse de manera simultánea y complementaria al M1.

El tercer modelo de negocio propuesto (M3) tiene el alcance más amplio de los tres, y podría aportar al beneficio y desarrollo de los dos modelos anteriores. Con este modelo, se pretende la generación de vapor y electricidad por medio de sistemas de cogeneración. Para esto, la empresa distribuidora de electricidad de la región, COOPELESCA R.L, es un actor clave, ya que

ha demostrado interés en otorgarle participación a la biomasa forestal dentro de su matriz de generación. Esta propuesta constituye una alternativa más llamativa, pues se basa en la capacidad de producir energía firme, gestionable y no estacional en virtud a las características de obtención de la biomasa forestal. De esta manera, se apoyaría de forma directa en la reactivación del sector forestal de la RHN y su economía.

Para la evaluación técnica y financiera del M3, se diseñó un sistema integrado de cogeneración, capaz de abastecer las demandas de energía eléctrica y térmica de las industrias de mayor consumo en la RHN. Con base en la información recopilada y la compartida por COOPELESCA R.L. sobre la demanda típica de grandes consumidores de electricidad en la región, se definieron tres unidades de generación: generación de vapor (H), cogeneración (CHP), y generación de potencia eléctrica (P), representadas en la Figura B. La configuración final se denomina CHP+P, y permite entregar energía eléctrica y térmica de forma independiente, con una capacidad instalada en relación 1:3, respectivamente.



**Figura B.** Unidades de generación de energía que integran el sistema de CHP+P.  
Fuente: elaboración propia.

Debido a la alta demanda de biomasa forestal que requieren las escalas de planta evaluadas en el M3, y a la poca oferta de biomasa forestal residual disponible en la RHN en comparación, se considera a la implementación de plantaciones dendroenergéticas como una fuente adicional de biomasa. Esta fuente de biomasa forestal adicional permitiría no solo solventar la necesidad de materia prima para la planta de cogeneración CHP+P de COOPELESCA R.L. sino también podría suplir de biomasa (en caso de ser necesaria por crecimiento del modelo) de los M1 y M2.

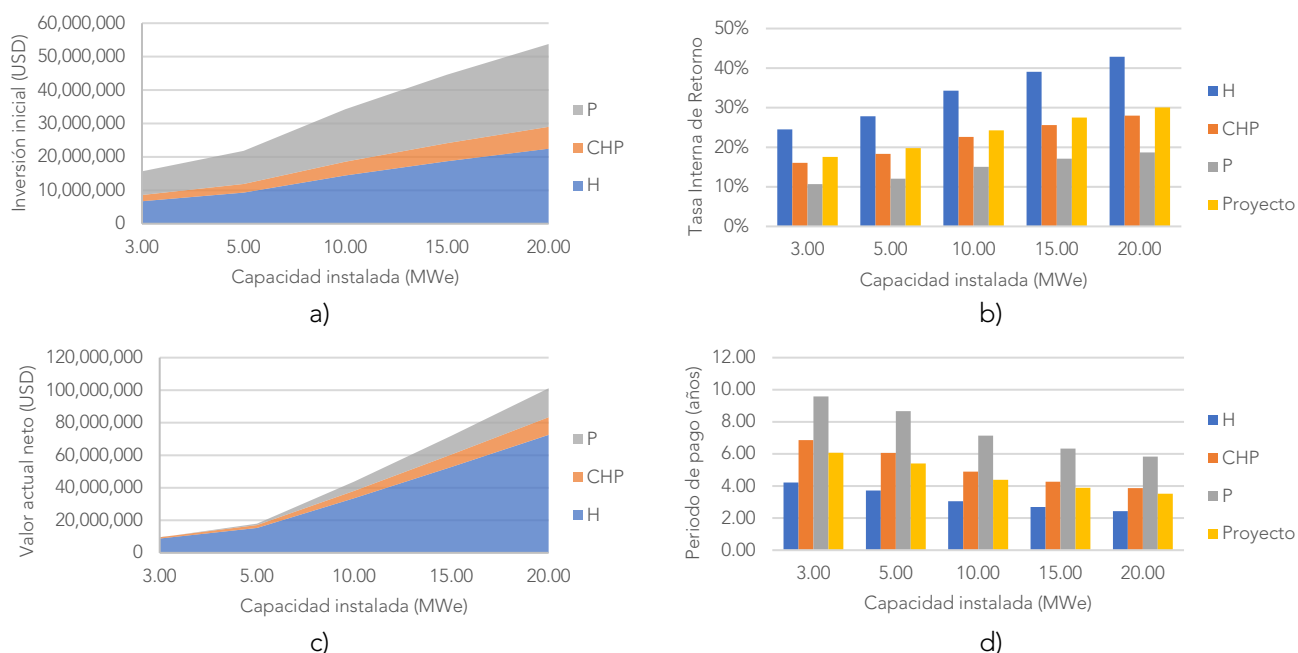
Gracias a las condiciones bajo las que fue diseñada la cadena de valor del modelo de cogeneración, los productores de madera de la RHN pueden incursionar en un modelo diferenciado de silvicultura, mediante la creación de contratos a largo plazo de abastecimiento de biomasa con la planta de cogeneración, de un periodo de 12 años como mínimo (la duración de una rotación completa de una plantación dendroenergética). Los indicadores financieros que resultan de gestionar una hectárea de plantación dendroenergética involucran una inversión inicial de 3 018 USD/ha con un periodo de pago de ocho años, una TIR del 11 % y un VAN de 1 277 USD/ha. Dichos valores tenderán a ser más atractivos conforme aumente la escala de la plantación, pues los costos operativos y de mantenimiento se diluirán.

Para la evaluación financiera del M3, se consideraron cinco escenarios de generación energética como parte de la matriz energética de COOPELESCA R.L., contemplando que ésta incluiría a la propuesta dentro de su portafolio de inversiones para ofrecer servicios de venta de vapor y electricidad a industrias de alta demanda energética actuales y/o futuras. Estos son: (1) 3 MWe & 8.9 MWt, (2) 5 MWe & 14.82 MWt, (3) 10 MWe & 29.65 MWt, (4) 15 MWe & 44.47 MWt, y (5) 20 MWe & 59.30 MWt.

Para el análisis de esta propuesta, se consideró el siguiente conjunto de condiciones necesarias:

- La inversión y la operación de la planta de cogeneración las realizaría COOPELESCA R.L.
- Se implementaría un modelo de plantaciones dendroenergéticas en la RHN, gestionadas por el gremio de productores de madera, para abastecer de forma estable y continua a la planta de cogeneración.
- El producto de biomasa se vendería a 50 USD/ton, sin triturar, y el productor no asumiría los costos de transporte.
- La planta de cogeneración deberá ser colocada a un máximo de 30 km de las plantaciones dendroenergéticas. Se considera ubicar la planta en Muelle de San Carlos y las plantaciones en los distritos de Pocosol, Cutris, San Jorge y el Amparo, ya que, a menor distancia, más rentable será el proyecto.
- Se venderá vapor a 45 USD/ton, (10 % más barato que al producirlo con calderas de búnker) durante 8 000 horas al año, y se generará electricidad durante 4 000 h (en época seca), con las turbinas condensante (P) y no-condensante (CHP), respectivamente.

Los resultados de las evaluaciones financieras, por capacidad instalada, se presentan en la Figura C., donde se puede observar que la inversión inicial va de los 10 a los 60 millones de USD, con periodos de pago de entre dos y diez años, con tasas internas de retorno de entre 10 % y 40 %, y VAN de entre 10 y 100 millones de USD.



**Figura C.** Comportamiento de los indicadores financieros según la capacidad instalada: a) Inversión inicial, b) Tasa interna de retorno, c) Valor actual neto (USD), d) Período de pago. Fuente: elaboración propia.

El M3 analizado presenta indicadores socioeconómicos y ambientales de interés, de acuerdo con los escenarios analizados, que van desde una creación de entre 42 y 387 nuevos empleos en silvicultura, un aumento de hectáreas sembradas en la RHN de entre un 6.52 % a un 59.61 %, emisiones de GEI evitadas de entre un 18 % a un 30 %, y energía limpia generada de entre 300 a 1 998 TJ/año.

Como segunda opción para la implementación de M3, se consideró la posibilidad de que una empresa de la RHN con alto consumo de energía térmica y eléctrica sustituyese sus calderas de búnker por un sistema de CHP+P. Este modelo se plantea para una posible inversión en una industria láctea localizada en Ciudad Quesada. Se evalúa financieramente una cadena de valor que consiste en la compra de astillas de madera a la empresa Agrep Forestal para suplir de biomasa a la planta de cogeneración con una capacidad instalada de 3 MWe y 8.9 MWt. Sin embargo, aunque el proyecto resulta rentable como un todo, al disgregar la rentabilidad del mismo por unidad de generación, solo resulta financieramente atractiva la generación de vapor (lo que lo hace igual que el M2). Esto se debe a que los ahorros en compra de electricidad no superarían sustancialmente a los costos de inversión, operación y mantenimiento de los turbogeneradores y la adquisición de la biomasa.

En el Cuadro C, se muestra un resumen de los impactos ambientales, socio-económicos y energéticos por efecto de la implementación de cada uno de los escenarios evaluados para los tres modelos de negocio planteados, de acuerdo con los indicadores evaluados. Esta comparación permite observar las ventajas que para la RHN tendría la implementación de cada modelo.

**Cuadro C.** Impactos energéticos, socioeconómicos y ambientales de cada modelo de negocio

Modelo	Aumento de hectáreas sembradas <sup>1</sup>	Rentabilidad	Emisiones GEI evitadas (ton CO <sub>2</sub> /año) <sup>2</sup>	Nuevos empleos en sector forestal	Energía limpia gestionable generada (TJ/año)
Instalación de hornos de leña	-	40 %	1 874	10	30
Sustitución de calderas de búnker 400 bHP-vapor (3.92 MWt)	-	41 %	11 671	48	113
Sustitución de calderas de búnker 800 bHP-vapor (7.84 MWt)	-	72 %	23 345	97	226
Planta CHP+P para COOPELESCA (3 MWe & 8.9 MWt)	6.52%	18 %	44 378	42	300
Planta CHP+P para COOPELESCA (5 MWe & 14.82 MWt)	12.77%	20 %	73 964	83	499
Planta CHP+P para COOPELESCA (10 MWe & 29.65MWt)	28.38%	24%	147 928	184	999
Planta CHP+P para COOPELESCA (15 MWe & 44.47 MWt)	43.99%	28%	221 892	286	1498
Planta CHP+P para COOPELESCA (20 MWe & 59.30 MWt)	59.61%	30%	295 856	387	1998
Planta CHP+P en Industria (3 MWe & 8.9 MWt)	-	28%	59 074	241 <sup>3</sup>	332

Fuente: elaboración propia. Notas:

<sup>1</sup>Con respecto a las 24 051 hectáreas sembradas que reporta INEC (2014).

<sup>2</sup>Comparado con el uso de gas LPG para hornos y búnker en calderas y termoeléctricas.

<sup>3</sup>Para mayor detalle sobre la distribución de los costos e ingresos brutos por unidad de generación revisar el Capítulo 5, Apartado 5.2.3.

<sup>4</sup>Se considera la creación de nuevos empleos para la extracción y comercialización de residuos biomásicos forestales, aunque no necesariamente en la RHN.

Para fortalecer los planes de inversión en un futuro se identificaron y describieron posibles fuentes de financiamiento que podrían facilitar la implementación de cada uno de los modelos. Las fuentes de financiamiento se exponen divididas en tres categorías: fondos reembolsables, no reembolsables (o crédito), y *equity*. Cada una de ellas puede ser utilizada para financiar al menos una de las fases del desarrollo de los proyectos, desde la valoración técnica, pasando por el estudio de factibilidad, hasta la aceleración y despliegue.

Luego de un análisis de las oportunidades que se obtienen en cada modelo de negocio, se identificaron barreras para la inversión que cada uno de los modelos de negocio enfrenta, así como oportunidades y estrategias para superarlas:

- Modelo 1: se identificó un círculo vicioso entre la falta de estímulo para el uso de tecnologías para el aprovechamiento energético de la leña, la falta de proveedores y la falta de conocimiento sobre tales tecnologías. Dicho círculo podría ser roto mediante la implementación de talleres de capacitación técnica y planes piloto para la promoción de las tecnologías, así como la inserción de planes de financiamiento en la banca estatal y privada de la región.
- Modelo 2: el desconocimiento generalizado sobre fuentes de financiamiento y proveedores fue identificado como un obstáculo que podría ser subsanado mediante campañas, talleres y congresos, donde proveedores y consultores especializados en la instalación y puesta en marcha de sistemas de energía a partir de biomasa forestal ofrecerían información técnica y de mercado. Existen productos financieros en la banca nacional y regional que apoyan este tipo de iniciativas; dicha información se muestra en detalle en el Capítulo 6.
- Modelo 3: como estrategias para solucionar la inexistencia de un mercado estable de biomasa forestal, así como de normativa para la regulación, por parte de ARESEP, de la compra de energía generada con dicha biomasa, se propone la promoción de proyectos de cogeneración como estrategia de reactivación económica y la elaboración de normativa habilitante por parte de FONAFIFO, Clúster Forestal de la Región Huetar Norte, COOPELESCA R.L., ARESEP y MINAE.
- Adicionalmente, se identificaron barreras de carácter transversal, tales como la falta de liquidez o solvencia económica por parte de los empresarios locales, las necesidades de capacitación técnica de todos los sectores involucrados, y el “lock-in” tecnológico por efecto de las inversiones ya realizadas en sistemas de energía que emplean combustibles fósiles (LPG y búnker), los cuales entrarían en competencia directa con las alternativas propuestas.

Adicionalmente, se elabora un análisis de escenarios, es decir un análisis exhaustivo de lo que se espera que suceda en el proceso de implementación de los modelos propuestos, y, también, a causa de ellos. Esto, porque resulta imperativo analizar los beneficios netos que conlleva una u otra alternativa dentro de un marco estratégico, y comprender los riesgos asociados a la toma de decisiones en relación con las alternativas presentadas. Entre los posibles impactos a corto y mediano plazo, se identificaron:

- Un aumento en la reforestación para la producción de madera y para dendroenergía
- La reactivación de la actividad de reforestación en tierras en las que se dejó de reforestar.
- Mejora en vías cantonales y nacionales para optimizar el transporte de materiales y personas.
- Programas de asistencia técnica impulsados por el Clúster Forestal de la Región Huetar Norte y personal técnico del TEC, UTN, CIA, ETAi y CODEFORSA, para productores de madera que busquen mejorar sus procesos de extracción y comercialización de biomasa residual de cosechas y raleos.
- Aplicación de la norma de biocombustibles sólidos de INTECO, la cual se está elaborando actualmente.
- Un aumento en las solicitudes dentro del Programa de Pago por Servicios Ambientales (PPSA) y dentro del Programa de Plantaciones de Aprovechamiento Forestal (PPAF) a FONAFIFO para reforestación.

Por otro lado, se realizó una revisión sobre el alcance y los aportes que cada modelo brinda a planes y políticas nacionales vigentes y relevantes en materia ambiental y energética, principalmente; entre ellos, el Plan Nacional de Descarbonización 2018-2050, el Plan Nacional de Energía 2015-2030, y el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2016-2021. Esta revisión se concretó en la forma de una matriz de impactos, donde se consignaron los impactos cuantitativos y cualitativos que los modelos tendrían en cada una de los planes y políticas, en los siguientes rubros: energía primaria a partir de biomasa, capacidad instalada, emisiones evitadas, residuos procesados, empleos verdes y árboles plantados (reforestación)

Algo que se evidenció durante la revisión hecha fue que los planes existentes podrían ser mejorados, pues hay un faltante de métricas cuantitativas e interinstitucionales en ellos. Esto impidió, en varios casos, determinar de manera más precisa la naturaleza de los impactos surtidos. En el Capítulo 7, también se analizaron las relaciones que se establecerían entre los principales actores, y cómo algunas de estas relaciones podrían verse fortalecidas mediante el establecimiento de alianzas estratégicas específicas. Son cinco las alianzas estratégicas propuestas y descritas en este capítulo:

1. Financiamiento y promoción de hornos de leña: FONAFIFO – Clúster Forestal de la RHN.
2. Facilitación y promoción de calderas de biomasa: Asociación de Desarrollo de la Zona Norte (ADEZN) – Sector Industrial – CRECEX – CINDE – Clúster Forestal de la RHN.
3. Implementación de centros de acopio: Clúster Forestal de la RHN – Agrep Forestal.
4. Implementación de sistemas de cogeneración con biomasa forestal: Agrep Forestal – Sistemas de CHP + P – Clúster Forestal – CRECEX – CINDE.
5. Rectoría de la política pública sectorial: Instituciones del sector forestal (FONAFIFO y SINAC) con el sector energía (SEPSE).

Como una estrategia adicional para el aumento de disponibilidad de residuos, luego de un análisis de encadenamientos productivos, se realizó una descripción del impacto esperado en el uso de madera en el sector construcción. Esto, porque la oferta disponible de biomasa forestal residual dependerá en gran parte de la demanda de productos terminados, los cuales incluyen embalajes y materiales de construcción. Se hace necesario, por lo tanto, el desarrollo de un ecosistema que no solo rescate y promueva a los sistemas constructivos tradicionales en madera, sino que también logre innovar con las materias primas locales. Algunas necesidades identificadas, en este sentido, son:

- La formación de más profesionales en el uso de materiales forestales.
- La investigación y desarrollo para la generación y promoción de productos híbridos y derivados.
- El uso y reconocimiento, a nivel nacional, de las declaraciones ambientales de producto (DAPs).
- Un mayor involucramiento de los gobiernos locales en la promoción de productos o sistemas constructivos.

El último capítulo de este informe, contiene una propuesta de política pública dirigida hacia el aprovechamiento de residuos forestales para la sustitución de combustibles fósiles en la industria costarricense; particularmente, en la RHN. Esta política fue planteada como una herramienta clave para el éxito de los modelos de negocio, la cual está compuesta por objetivos estratégicos y acciones dirigidas hacia el desarrollo de una economía baja en emisiones o descarbonizada, así como el fortalecimiento del sector forestal.

La propuesta lleva como título *“Política para el aprovechamiento energético de la biomasa forestal residual en la Región Huetar Norte de Costa Rica”*, y su elaboración se desarrolló con base en una guía del MIDEPLAN. Esto implicó hacer un repaso por los antecedentes normativos y políticos, incluyendo un inventario de proyectos de ley que actualmente están siendo sometidos a discusión en la Asamblea Legislativa, así como de proyectos que han sido archivados. A partir de esto, y del resto del análisis desarrollado durante esta consultoría, se propusieron seis objetivos generales, para cada uno de los cuales hay efectos directos esperados.

Los objetivos generales planteados corresponden, a grosso modo, con seis ejes temáticos alrededor de los cuales se agrupan las acciones estratégicas propuestas. Dichos ejes son: infraestructura, brechas de información técnica, negocios interactivos, construcción de capacidades de personal, integración social orgánica, y coordinación de instrumentos legales y políticos. Las acciones estratégicas, presentadas y articuladas a manera de hoja de ruta, son 63 en total: cuarenta de ellas son de carácter transversal para la reactivación del sector forestal de la RHN, mientras que siete son específicas para la implementación del modelo 1; cuatro, para el modelo 2; y las doce restantes, para el modelo 3. Como también se verá en este Capítulo, es posible agrupar las acciones según metas específicas en común, con indicadores, responsables y fechas de inicio asignadas.

Por último, en el Capítulo 8 se propone un modelo de gestión para la implementación de esta política y su seguimiento. Este modelo está organizado en niveles, componentes, funciones y actores. En esencia, el nivel de Rectoría tiene un componente de conducción política, dirigido por MINAE a través de entidades adscritas (SEPSE y FONAFIFO), y un componente de coordinación técnica interinstitucional, con el Clúster Forestal de la RHN y la Agencia para el Desarrollo de la RHN como actores principales; estos estarían a cargo, respectivamente, de coordinar las acciones referentes a la oferta y la demanda del recurso biomásico. El segundo nivel (Ejecución) tiene componentes a la institucionalidad pública, la sociedad civil y las empresas privadas de la RHN, las cuales se espera que trabajen en sinergia.