

**INFORME FINAL**

**“ESTUDIO DE VALORIZACION  
ENERGETICA DE BIOMASA FORESTAL EN  
LA REGION DE LOS RIOS”**

**BIP 30458129-0**

**Proyecto financiado por el Gobierno Regional a través del Fondo de Innovación  
para la Competitividad Regional, FIC-R**

**Unidad Técnica: Corporación Regional Desarrollo Productivo**

[www.corporacionlosrios.cl](http://www.corporacionlosrios.cl)  
Estudio ejecutado por

**Universidad Austral de Chile**



**Valdivia, Julio, 2018**

## Agradecimientos

Agradecimiento especial, por su liderazgo y responsabilidad, realizamos como equipo, en este documento final, a nuestro investigador responsable, Dr. Victor Sandoval Vásquez.

# Resumen Ejecutivo

## Primer Informe

Es importante que la región cuente con información sistemática e integral sobre la disponibilidad y distribución del potencial biomásico forestal de “Los Ríos”, donde se consideren las últimas investigaciones y herramientas con las que cuenta el sector forestal y energético de esta zona. Cabe destacar, disponer del Potencial Teórico, el Potencial Existente y Disponible, así como el Potencial Implementable, lo importante es contar con información de factibilidad técnica, medioambiental en costos de transporte, y ser una alternativa rentable a puntos de demanda por biomasa, considerando las particularidades físicas y ambientales de la región, sus industrias madereras y que se realicen las estimaciones utilizando información y herramientas más actualizadas a nivel local.

## Alcances y Consideraciones de la Actualización

En este primer informe, se describe principalmente, la metodología utilizada para la generación de datos de biomasa y una primera aproximación a la información que permita precisar las estimaciones de biomasa potencial existente y disponible regional, incluyendo restricciones ambientales, y flujo anual de disponible. En el siguiente informe se estimará el potencial implementable para la región de Los Ríos.

En ese contexto las consideraciones principales de este informe son las siguientes:

- ) El cálculo de superficie neta regional de bosques se realizó sobre la base de **Catastro de los Recursos Vegetacionales de la región de Los Ríos año 2013, actualizado al año 2017 en este proyecto**. Así, los datos de superficie neta de la región, corresponde a la más reciente cubierta digital del área, con un error de estimación del 10%, generada para específicamente para este estudio. Esta labor se realizó entre octubre y diciembre, sobre la base de foteointerpretación del uso del suelo, control de campo y que incluye bosque nativo, BN y plantaciones industriales.
- ) La Información de biomasa, se determinó con la información del **Inventario de Dendroenergía y Carbono**, de CONAF y con la **integración de diversas fuentes de parcelas de la región de Los Ríos**, proveniente de estudios de otras instituciones del país realizadas por la UACH, **expandido a nivel de superficie en hectáreas, ha.**

- ) Se realiza un primer análisis y estimación de la caracterización de la oferta de biomasa en la región de Los Ríos **respecto a instalaciones de proceso, aprovechamiento y/o conversión energética de dicha biomasa y un análisis de plantas produciendo biocombustibles a partir de biomasa que están en servicio**; se ha incluido también plantas regionales en fase de proyecto.
- ) En las próximas etapas del proyecto, y a partir de la base de información obtenida en este avance, se desagregará la información a nivel territorial del potencial energético **disponible e implementable**, para posibles proyectos. En este acápite, se considerarán las características y formas propias del recurso, aserrín, lampazo, viruta, etc. y las restricciones, precio actual y futuro, distancia caminos, época de cosecha/abastecimiento, mercado de venta alternativo, etc. Esto se complementará, con la información primaria que incluye termino de encuesta a Pymemad Los Ríos A.G. que para este avance se ha entrevistado el 50% de la Pyme maderera regional.

#### **Resultados Relevantes del Primer Informe.**

- ) En total, se estima que la región presenta un flujo potencial de biomasa forestal o residual a partir de BN, de 1.892.260,5 TS/año. Del valor total, podemos destacar lo siguiente:
- Las estructuras de bosques que aportan mayormente al flujo anual de biomasa se encuentran la estructura de bosque renoval con 968.137 TS/año, lo que representa el 51,2% del flujo total anual.
  - Cabe mencionar, que el 63,6% del flujo anual, se encuentran en los renovales sobre 12 m de altura. El tipo forestal Roble – Raulí – Coihue y el subtipo Roble, representa el 58,2% o 563.722 TS/año del flujo potencial de biomasa que aportan los renovales.
  - Respecto del flujo de biomasa a nivel de tipos forestales, se aprecia un aumento de la biomasa en los tipos forestales Roble-Raulí Coihue y Coihue Raulí Tepa entre el año 2015 y 2017.
  - Las comunas que presentan el mayor potencial de biomasa residual en BN son Panguipulli, Los Lagos, Futrono, Rio Bueno y Lago Ranco con 1.267.050,97 TS/año.
- ) Respecto las plantaciones industriales, se estima, con información preliminar aun en revisión, que la región presenta un flujo potencial en régimen, a partir de plantaciones exóticas, de 425.820,2 TS/año. Lo anterior se desagrega en:
- Pymes, un total de 102.189,6 TS/año.
  - Grandes Empresas, un total de 217.720,1 TS/año.

- Detectada en el monitoreo año 2017 realizado para este estudio y no incluida en Pymes y grandes empresas, un total de 105.910,5 TS/año. Esta última cifra está aún en proceso de revisión.
- Teniendo en cuenta que la biomasa desde BN es por ahora sólo potencial físico disponible, los residuos de cosecha de plantaciones constituyen la mayor parte de la oferta actual de biomasa para fines energéticos, la que alcanza a 202.283 TS/año, biomasa que se duplicará cuando las plantaciones entren en régimen o sea 425.820 TS/año. Esta biomasa, según el período 2007-2016 analizado, está conformada mayoritariamente por desechos de cosecha de plantaciones de *Eucalyptus sp.* con un 62,8%. La mayor parte de estos residuos, un 79%, provienen de la provincia de Valdivia, de las comunas de Mariquina, Valdivia, Mafil y Los Lagos. La comuna de La Unión, de la provincia del Ranco aporta otro 20%.

No obstante, gran parte de esta biomasa está parcialmente cautiva o comprometida en los procesos productivos de las grandes empresas forestales, quedando disponible sólo cerca de 33.380 TS/año, residuos que están en manos de propietarios considerados como grandes empresas.

- J) Respecto a los **residuos y desechos la industria primaria**, se estima unas 140 industrias primarias forestales, según catastro efectuado por el INFOR en el año 2016, información aún en proceso de revisión para este proyecto, se determinó que la región presenta un flujo potencial de biomasa forestal que se desagrega de la siguiente forma:
- Pymes, un total de 124.830 TS/año.
  - Gran empresa, Arauco, un total de 142.500 TS/año en la comuna de Mariquina.
  - Total, aserraderos región de Los Ríos, tiene un potencial de biomasa residual de 267.300 TS/año.
- J) A partir de **la construcción de la oferta disponible** y aprovechable de biomasa forestal, tanto de plantaciones y de BN, se procesó y generó un **mapa de calor**, preliminar, donde se muestra gráficamente la concentración espacial en el territorio de la región de Los Ríos. En este mapa se identifican las áreas del territorio en las que existe la mayor oferta de biomasa disponible y su concentración.
- J) Finalmente se realizó un primer análisis y estimación de la caracterización de la oferta de biomasa en la región de Los Ríos, **respecto a instalaciones de proceso**, aprovechamiento y/o conversión energética de dicha biomasa y **un análisis de plantas produciendo biocombustibles a partir de biomasa** que están en servicio; se ha incluido también plantas en fase de proyecto, como la UACH.

### **Acciones por Desarrollar para Segundo Informe.**

De la información y datos obtenidos, y en el siguiente avance, se aplicarán distintas variables para evaluar la biomasa forestal existente en términos; residuos y desechos de la industria primaria, BN y plantaciones exóticas, respecto de sus propiedades, contenido de humedad, densidad, composición, etc. para estimar el potencial energético disponible y los tratamientos requeridos.

De igual forma en las próximas etapas del proyecto, y a partir de la base de datos obtenida, aún en proceso de revisión, se desagregará la información a nivel territorial del potencial energético disponible, para posibles proyectos. En este punto, se considerarán las características y formas propias del recurso, aserrín, lampazo, viruta, etc. y las restricciones, precio actual y futuro, distancia caminos, época de cosecha/abastecimiento, mercado de venta alternativo, etc. Esto se complementará, con la información primaria, a partir de la realización de encuesta a Pymemad Los Ríos A.G.

## Segundo Informe de Avance

En Chile, la situación energética nacional al final del siglo pasado ya presentaba desafíos producto del crecimiento del sistema energético nacional y de los impactos ambientales que ello implicaba; había que realizar esfuerzos significativos conducentes al estudio y al desarrollo de nuevas tecnologías que fueran concordantes con la realidad del país. A la fecha, aunque el uso de desechos forestales aporta un porcentaje importante del consumo de leña habitacional, los desafíos persisten; por otro lado, el sector manufacturero de la región de Los Ríos consume una importante cantidad de energía proveniente de la leña y desechos forestales, que aportan al abastecimiento de energía primaria del país. No obstante, el porcentaje de utilización de esta biomasa forestal como energético, respecto del volumen total, todavía es reducido en nuestro país.

### Alcances y consideraciones

El Segundo informe del proyecto da cuenta de la metodología empleada para cumplir con el segundo objetivo de éste, que proponía en su formulación, analizar una evaluación técnico-económico de diversas alternativas para la valorización energética de residuos, ya sea mediante generación térmica, cogeneración eléctrica y/o transformación mecánica. Lo anterior en enlace con los resultados obtenidos en la primera parte del proyecto, referidos al análisis espacial de residuos de biomasa forestal en la región de Los Ríos, su oferta de suministro, localización y características de éstos, principalmente de aquellos derivados de la industria primaria y residuos de cosecha.

Previo a esto, se incluye el diseño y aplicación de una encuesta aplicada a la industria primaria de la madera de la región, cuyo objetivo es determinar el estado actual sobre el aprovechamiento de residuos derivados de procesos industriales, como así también aspectos tecnológicos en su transformación para ser empleados como recursos energéticos.

Las etapas principales que componen este segundo informe son las siguientes:

### Evaluación técnica:

- ) Análisis del estado del arte de la tecnología de conversión de biomasa y generación de energía.
- ) Análisis de alternativas de conversión termoquímica o transformación mecánica.
- ) Alternativas de preparación, tratamiento y proceso.
- ) Evaluación de logística de abastecimiento, manejo y subproductos.
- ) Métodos de extracción, tratamiento y manejo y costos asociados.
- ) Servicios logísticos y de apoyo considerados.

- ) Definición de macro emplazamiento óptimo.
- ) Costos de transporte y viabilidad técnica.
- ) Generación de la energía, térmica y/ o eléctrica.
- ) Descripción de ingeniería básica. Instalaciones principales, instalaciones auxiliares y servicios anexos. Descripción de instalaciones y tecnología utilizadas; diagrama de flujo operativo; mano de obra y régimen de funcionamiento. Descripción de equipos principales y secundarios; almacenamiento biomasa, dimensionamiento diseño de planta, características técnicas y plan de mantención.
- ) Ejemplos de inversión y experiencias.

#### **Evaluación Económica:**

- ) Análisis de costos de inversión.
- ) Análisis de estructura de costos operacionales.
- ) Evaluación de la estructura de costos de producción de energía.
- ) Supuestos y análisis de diversos escenarios.
- ) Análisis y evaluación técnico económico de selección de alternativas tecnológicas.
- ) Determinación de indicadores económicos relevantes.
- ) Evaluación de factibilidad de proyectos.
- ) Análisis de Resultados.
- ) Desarrollo de modelo de negocio en base a la potencial producción de energía o biocombustible.
- ) Recomendaciones.

#### **Principales Hallazgos**

Los siguientes, son los principales hallazgos reportados en este segundo informe del proyecto:

##### **Sobre la Encuesta Aplicada a la Industria Primaria:**

A partir de la encuesta aplicada, se ha podido obtener resultados segregados respecto a la materia prima, desechos madereros y al uso de los desechos madereros por parte de la industria de la madera en la región de Los Ríos.

Se constata que las tecnologías usadas por la pequeña y mediana empresa son antiguos y sin un plan de prolongación de vida útil o de reemplazo, por lo cual el desarrollo de este estudio permitiría



facilitar la inclusión de tecnologías a la industria primaria que conllevaría a planes de desarrollo acordes.

También se concluye que existe un potencial interesante de uso de los desechos de la madera, pero estos deberían ser acompañados de los desarrollos de tecnología acordes y a recursos de soporte provenientes de subsidios e incentivos y entorno a políticas públicas regionales adecuadas para incorporar a este producto en la cadena de valor del sector.

#### **Sobre los Costos de la Biomasa:**

El estudio confirma la disponibilidad de biomasa de residuos de la producción de leña, de residuos de cosecha de plantaciones forestales y residuos de la industria primaria de la madera, en cantidades suficientes y a costos competitivos con otros combustibles para desarrollar proyectos de pequeña y mediana escala usando biomasa, por ejemplo, con necesidades de suministro menor a 30.000 TS/año.

Los resultados confirman además que el aprovechamiento de BN exclusivamente para biomasa con fines energéticos no es viable económicamente por condiciones físicas como fragmentación de la oferta y dispersión respecto de los centros de consumo, y también debido a los mejores precios de combustibles alternativos como la leña.

#### **Sobre la Evaluación de Alternativas Tecnológicas:**

La evaluación de alternativas tecnológicas para el aprovechamiento y valorización energética de la biomasa forestal residual contempló diferentes procesos termoquímicos y termomecánicos de conversión de la biomasa, a saber:

- ) Combustión directa.
- ) Pirólisis.
- ) Gasificación.
- ) Licuefacción.
- ) Densificación.

También se realiza un estudio sobre los costos de inversión, operación y mantenimiento de este tipo de tecnologías.

Finalmente se muestra una metodología de evaluación económica, a la que son sometidos los proyectos de ingeniería seleccionados en el contexto de este proyecto.

#### **Sobre los Estudios de Prefactibilidad:**

El evalúa un conjunto de 7 proyectos, seleccionados de acuerdo con los requerimientos de este estudio. Los proyectos han sido elegidos en función de los resultados obtenidos en el primer informe de este estudio, correspondientes a la disponibilidad de biomasa en la región de Los Ríos; se considera además el posible impacto social y medioambiental que representan tanto para la región como para el País.

Los proyectos evaluados son:

- ) Calefacción Distrital Campus Teja UACH. Caso 1. Central Térmica de 1.1 MW.
- ) Calefacción Distrital Campus Teja UACH. Caso 2. Central Térmica de 1.7 MW.
- ) Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH. Central Térmica de 0.45 MW.
- ) Cogeneración Planta de Aserraderos Timberni. Potencia Eléctrica de 0.3 MW.
- ) Incremento de Producción de Pellets en Aserraderos Collico: 2 ton/h.
- ) Disponibilidad de Biomasa Empresa Celulosa Arauco: 7.000 TS/año.
- ) Disponibilidad de Biomasa Empresa Colun: 5.500 TS/año

#### **Sobre la Ingeniería Básica de Proyectos de Valorización Energética de la Biomasa:**

Se proporcionan antecedentes que dan cuenta de la capacidad del equipo de trabajo para elaborar proyectos de ingeniería básica en el ámbito de este estudio. Se presentan los productos relativos a la optimización de la ingeniería básica del proyecto de calefacción distrital para el Campus Miraflores de la UACH:

- ) Especificaciones Técnicas, EETT, para procesos de licitación, pública o privada, con el fin de llevar a cabo la implementación de un proyecto de ingeniería.
- ) Planos de instalación que dan cuenta de los elementos esenciales de un proyecto de ingeniería de la central térmica de biomasa y la distribución de energía a través de una red bitubular a todos los edificios contemplados en el proyecto.

# Tabla de Contenidos

Agradecimientos .....	2
Resumen Ejecutivo.....	3
Tabla de Contenidos.....	11
Lista de Figuras .....	22
Lista de Tablas .....	27
Lista de Ecuaciones .....	32
Acrónimos .....	33
Nomenclatura .....	39
Definiciones .....	40
Primer Informe de Avance .....	42
Introducción .....	42
1. Características del Mercado Energético en Chile.....	46
1.1 Marco Legal, Leyes y Decretos .....	46
1.1.1 Leyes y Decretos de Energía Eléctrica.....	47
1.1.1.1 DFL N°1 de 1982 – Ley General de Servicios Eléctricos.....	47
1.1.1.2 Ley 19.613.....	47
1.1.1.3 Ley 19.674.....	47
1.1.1.4 Ley 19.940 – Ley General de Servicios Eléctricos .....	47
1.1.1.5 Ley 20.018 – Ley General de Servicios Eléctricos .....	47
1.1.1.6 Ley 20.257.....	48
1.1.1.7 Ley 20.698.....	48
1.1.2 Leyes y Decretos Relativos a Biocombustibles .....	48

1.1.2.1	Decreto N° 11/2008 del Ministerio de Economía. ....	48
1.1.2.2	Circular N°30/2007 el Servicio de Impuestos Internos.....	48
1.1.2.3	Ley N°20.339/2009 .....	49
1.1.2.4	Resolución Exenta N°746 .....	49
1.1.3	Leyes y Decretos Relativos al Medioambiente .....	49
1.2	Aportes Públicos y Subvenciones a las ERNC.....	49
1.3	Energías Renovables en Chile .....	50
1.3.1	Reporte Energético en Chile.....	51
2.	Bioenergía a partir de la Biomasa Forestal; Experiencias Internacionales .....	59
2.1	Reino Unido.....	59
2.2	Dinamarca.....	60
2.3	Finlandia .....	61
2.4	Comparativo Países Norte de Europa .....	62
2.5	Argentina .....	63
2.6	Brasil.....	63
2.7	Comparativo Países Sudamericanos .....	64
3.	La Biomasa en Chile .....	66
3.1	Uso de la Biomasa para Energía Eléctrica.....	67
3.2	Uso de la Biomasa para Energía Térmica.....	69
3.2.1	Ejemplos de Usos de la Biomasa para Generación Térmica en Chile.....	69
4.	La Producción de Biomasa Forestal como Combustible.....	71
4.1	Plantas de Gran Tamaño .....	71
4.2	Plantas de Mediano Tamaño.....	72
4.3	Plantas de Pequeño Tamaño .....	73
5.	Alternativas de Disponibilidad de Biomasa Forestal para Proyectos.....	74
5.1	Bosque Nativo .....	75

5.2	Plantaciones con Biomasa Residual .....	76
5.3	Desechos y Residuos de la Industria de la Industria Primaria Forestal .....	82
6.	Oferta: Calculo de la Disponibilidad de Biomasa .....	86
6.1	Metodología Utilizada para la Estimación de Potencial de Biomasa Aprovechable .....	88
6.1.1	Análisis Geográfico y Bases de Datos Regionales.....	88
6.1.2	Estimación de Superficie Neta de BN y Plantaciones.....	88
6.1.3	Tasas de Crecimiento por Tipo de Bosques .....	93
6.2	Determinación de Biomasa, Ciclos de Corta y Flujo Anual de Biomasa .....	93
6.3	Estimación de Potencial Biomasa Aprovechable en Plantaciones de la Región .....	94
6.3.1	Características Físicas de la Biomasa Forestal Regional .....	94
6.3.2	Barreras a la Utilización de Biomasa Caso BN.....	95
6.3.2.1	Reducido Mercado para Productos Maderables .....	95
6.3.2.2	Limitantes Tecnológicas y Medioambientales .....	96
6.3.2.3	Insuficiente y Baja Calidad de la Red de Caminos Internos .....	96
6.3.2.4	Falta de Capital de Trabajo y Financiamiento.....	96
6.3.2.5	Competencia con Usos Actuales .....	96
6.3.2.6	Desinterés del Propietario por Factores Económicos o Deseo de Conservar....	97
6.3.3	Barreras a la Utilización de Biomasa Caso Plantaciones .....	97
6.4	Resultados de la Estimación de Potencial de Biomasa Aprovechable.....	97
6.4.1	Determinación Oferta de Biomasa en Plantaciones Exóticas.....	100
6.4.2	Biomasa en BN.....	102
6.4.2.1	Flujo Anual de Biomasa Estimado para la Región: BN .....	102
6.4.3	Distribución Espacial de la Biomasa Aprovechable .....	103
6.4.3.1	Flujo Anual de Biomasa Estimado para la Región: Plantaciones Exóticas.....	106
6.4.4	Presentación Mapa de Calor en Plantaciones Exóticas y BN.....	108
6.4.5	Análisis de Costos para Abastecimiento de Biomasa a Plantas de Energía.....	112

6.4.5.1	Costos de Producción .....	112
6.4.5.2	Situación BN .....	112
6.4.5.3	Situación Residuos de Plantaciones Forestales.....	112
6.4.5.4	Situación Desechos de Procesos de Manufactura .....	113
6.4.5.5	Costos de Transporte de Biomasa .....	113
6.4.5.6	Curva de Costos Marginales.....	113
6.5	Análisis y Estimación de la Caracterización de la Oferta de Biomasa para la Región.....	114
6.5.1	Instalaciones de Proceso, Aprovechamiento/Conversión Energética de Biomasa..	115
6.5.2	Plantas de Biomasa Existentes o en Fase de Proyecto .....	119
6.5.2.1	Caso 1: Universidad Austral de Chile .....	119
6.5.2.2	Caso 2: Planta de Cogeneración Bioenergía de Los Ríos .....	121
6.5.2.3	Caso 3: Planta Celulosa Arauco y Constitución S.A.....	123
7.	Conclusiones .....	126
	Segundo Informe de Avance.....	128
	Introducción .....	128
8.	Análisis Encuesta Industria Primaria .....	130
8.1	Elaboración y Aplicación.....	130
8.2	Validación y Tabulación.....	130
8.3	Resultados y Análisis.....	131
8.3.1	Materia Prima .....	131
8.3.2	Desechos Madereros .....	133
8.3.3	Producción de Energía .....	135
8.4	Conclusiones.....	137
9.	Costos de Suministro de Biomasa Disponible, Aprovechable y Redes .....	140
9.1	Metodología.....	141
9.2	Costos de Suministro de Biomasa .....	142

9.2.1	Astillado a Orilla de Camino.....	142
9.2.2	Astillado en Central de Biomasa .....	143
9.2.3	Astillado como Subproducto de la Producción de Leña .....	144
9.3	Calculo de Costos de Suministro .....	145
9.3.1	Análisis de Costo Marginal .....	145
9.3.2	Disponibilidad Teórica Total de Biomasa en la Región de Los Ríos.....	146
9.3.3	Criterios para Definición de Escenarios de Disponibilidad de Biomasa.....	146
9.4	Estimación de Disponibilidad por Tipo de Biomasa Residual .....	150
9.5	Precios de Compra de Biomasa Forestal .....	151
9.6	Contenido de Humedad de la Biomasa Residual .....	153
9.7	Poder Calorífico de las Especies.....	154
9.8	Resultados de Costos de Suministro de Biomasa Disponible.....	154
9.8.1	Flujo Anual de Biomasa según Escenarios de Utilización Potencial .....	158
9.8.2	Estabilidad en los Flujos Anuales de Biomasa Potencial.....	159
9.8.3	Análisis de Costos Marginales .....	161
9.9	Conclusiones.....	165
10.	Evaluación de Alternativas Tecnológicas .....	167
10.1	Contexto Energético Nacional e Internacional .....	168
10.2	Biomasa Forestal en Chile .....	169
10.2.1	Aporte de Biomasa en la Matriz Energética.....	169
10.2.2	Energía de la Biomasa.....	170
10.2.3	Ventajas de Utilizar Biomasa.....	172
10.2.4	Aplicaciones de la Biomasa .....	172
10.2.5	Recolección de la Biomasa.....	175
10.2.6	Preparación de la Biomasa Sólida.....	176
10.2.7	Procesamiento para la Transformación en Biocombustible .....	177

10.3	Estudio de la Factibilidad de Tecnologías de Conversión .....	178
10.3.1	Procesos Termoquímicos de Tecnologías de Conversión .....	179
10.3.1.1	Combustión Directa.....	179
10.3.1.2	Pirolisis.....	186
10.3.1.3	Gasificación.....	188
10.3.1.4	Licuefacción .....	189
10.3.2	Costos de Inversión de Tecnologías de Conversión.....	190
10.3.3	Costos de Operación y Mantenimiento .....	194
10.4	Evaluación Económica de Proyectos.....	194
10.4.1	Viabilidad Técnica .....	196
10.4.2	Viabilidad Legal.....	196
10.4.3	Viabilidad Económica .....	196
10.4.4	Procesos de Evaluación Económica de Proyectos.....	197
10.4.5	Estudio de Mercado.....	197
10.4.6	Estudio Técnico.....	197
10.4.7	Construcción del Flujo de Caja .....	198
10.4.8	Criterios de Evaluación Económica .....	198
11.	Estudios de Prefactibilidad.....	199
11.1	Prefactibilidad de Plantas de Calefacción Distrital en Campus UACH .....	199
11.1.1	Estudio de Prefactibilidad 1 para Campus Teja .....	202
11.1.1.1	Evaluación Técnico-Económica de Proyecto.....	204
11.1.2	Estudio de Prefactibilidad 2 para Campus Teja .....	206
11.1.2.1	Evaluación Técnico-Económica de Proyecto.....	210
11.1.3	Estudio de Prefactibilidad 3 para Campus Miraflores.....	213
11.1.3.1	Consumo de Energía y Costos Operacionales.....	216
11.1.3.2	Características y Diseño Sala de Calderas y Silo de Almacenamiento .....	218



11.1.3.3	Costos de Inversión Inicial .....	220
11.1.3.4	Evaluación Técnico-Económica de Proyecto .....	222
11.2	Prefactibilidad de Planta Cogeneración Aserraderos Timberni .....	226
11.2.1	Evaluación Económica de Proyecto .....	227
11.3	Prefactibilidad de Plantas Pellets/Briquetas en Comuna de Los Lagos .....	231
11.3.1	Prefactibilidad de Planta de Fabricación de Pellets .....	231
11.3.1.1	Plantas de Pellets .....	234
11.3.1.2	Planta de Pequeña Escala .....	236
11.3.1.3	Planta de Media Escala .....	237
11.3.1.4	Planta de Gran Escala .....	237
11.3.2	Prefactibilidad de Planta de Fabricación de Briquetas .....	239
11.4	Proyecto Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico .....	240
11.4.1	Proceso de Secado de Partículas de Biomasa en Lecho Fluidizado .....	241
11.5	Análisis Disponibilidad Biomasa Planta Cogeneración Arauco .....	243
11.6	Análisis Disponibilidad Biomasa Planta Colun .....	246
12.	Optimización de la Ingeniería Básica de Proyecto Seleccionado “Campus Miraflores” .....	249
12.1	Especificaciones Técnicas - Generalidades .....	249
12.1.1	Descripción del Proyecto .....	249
12.1.2	Condiciones para el Proponente .....	250
12.1.2.1	Calidad del Trabajo .....	250
12.1.2.2	Planos y Documentación .....	251
12.1.2.3	Normas .....	251
12.1.2.4	Modificaciones .....	252
12.1.2.5	Coordinación .....	252
12.1.2.6	Garantías .....	252
12.1.2.7	Supervisión de la Obra .....	252

12.1.2.8	Pruebas y Puesta en Marcha.....	253
12.2	Condiciones de Cálculo .....	253
12.3	Especificaciones Técnicas – Sistema de Calefacción .....	253
12.3.1	Sala de Calderas .....	253
12.3.1.1	Caldera .....	254
12.3.1.2	Chimeneas .....	256
12.3.1.3	Redes Surtidor y Retorno .....	256
12.3.1.4	Aislamiento Térmico .....	258
12.3.1.5	Termómetros .....	258
12.3.1.6	Manómetros.....	258
12.3.1.7	Control del Sistema de Calefacción .....	258
12.3.1.8	Bombas Circuladoras para Calefacción Circuito Primario de Calefacción.....	259
12.3.1.9	Bombas Circuladoras para Calefacción Circuito Secundario.....	260
12.3.1.10	Estanques Inerciales .....	261
12.4	Especificaciones Técnicas – Instalación Eléctrica.....	262
12.5	Pruebas, Puesta en Servicio y Entrega Calefacción.....	264
12.5.1	Generalidades .....	264
12.5.2	Trabajos Preliminares a Pruebas Calefacción .....	264
12.5.3	Pruebas de Cañerías de Calefacción.....	264
12.5.4	Operación de Equipos .....	265
12.5.4.1	Supervisión.....	265
12.5.4.2	Recurso Humano .....	265
12.6	Planos.....	265
12.7	Presupuesto Optimizado .....	266
12.8	Evaluación Económica .....	266
13.	Conclusiones .....	268

Tercer Informe de Avance.....	277
Introducción .....	277
14. Evaluación de Factibilidad Ambiental .....	279
14.1 Evaluación del Marco Normativo y Regulatorio Vigente. ....	279
14.2 Declaración de Impacto Ambiental .....	284
14.2.1 Descripción de los Antecedentes Generales.....	286
14.2.2 Descripción Detallada del Proyecto .....	288
14.2.3 Descripción de Equipamiento Principal, Acciones y Obras Civiles .....	289
14.2.3.1 Evaluación del Tratamiento y Disposición de Riles y Rises .....	291
14.2.3.2 Análisis de las Emisiones y su Abatimiento.....	294
14.2.4 Descripción de la Fase de Construcción.....	297
14.2.5 Descripción de la Fase de Operación .....	298
14.2.6 Descripción de la Fase de Abandono .....	300
15. Cadena de Valor y Disponibilidad de Biomasa.....	301
15.1 Catastro de Unidades de Producción .....	301
15.2 Producción del Sector Maderero Regional .....	303
15.3 Diagnóstico de la Cadena de Valor de la Pyme Maderera Regional .....	307
15.4 Producción de Biomasa Sector Maderero Regional .....	308
15.5 Flujo Potencial de Biomasa Residual Forestal.....	310
15.5.1 Escenarios de Utilización del FPBRF .....	312
16. Marco Conceptual de la Propuesta.....	315
16.1 Conceptos del Modelo de Gestión .....	315
16.1.1 La dimensión Territorial.....	315
16.1.1.1 Desarrollo del Concepto.....	316
16.1.1.2 Desarrollo de Mercados Financieros e Instrumentos para Pymes Madereras .....	320
16.1.2 Asociatividad para el Desarrollo Territorial.....	321

16.1.3	Logística Integrada.....	323
17.	Propuesta de Modelo de Gestión.....	325
17.1	Objetivo del Proyecto .....	325
17.2	Simplificación de la Gestión Territorial .....	325
17.3	Institucionalidad y Coherencia .....	325
17.4	Programas de Inversión Territorial .....	326
17.5	La Biomasa .....	326
18.	El Modelo Negocio .....	328
18.1	Concepto.....	328
18.2	Modalidad.....	329
19.	Modelo de Gestión y Estrategia de Inversión .....	330
19.1	Resumen Diagnostico .....	330
19.1.1	Causas .....	332
19.1.2	Propuestas de Acción .....	332
20.	Estrategia de Desarrollo .....	334
20.1	Principios Generales .....	334
20.2	Ámbito de Aplicación.....	334
20.3	Objetivos.....	334
20.4	Estructura de la Estrategia de Desarrollo.....	335
20.5	Propuesta de Modelo de Gestión de la Estrategia de Desarrollo .....	338
20.5.1	Actores Públicos Responsables.....	338
20.5.2	Actores Privados y de la Sociedad Civil Involucrados .....	339
20.5.3	Consideración e Incorporación en Políticas Públicas Regionales/Nacionales .....	339
20.5.4	Propuesta de Etapas/Fases Claves del Proceso Técnico-Político.....	340
20.5.5	Propuesta de Posibles Responsables y Líneas de Financiamiento .....	341
21.	Resultados de la Evaluación de Proyectos a Desarrollar en la Región de Los Ríos .....	345

21.1	Disponibilidad y Abastecimiento.....	346
21.2	Comparación de Proyectos Evaluados.....	347
22.	Recomendaciones de Implementación de Iniciativas Piloto .....	349
22.1	Consideraciones Técnicas.....	349
22.1.1	Proveedores de Equipamiento.....	350
22.1.2	Ubicación de la Planta.....	350
22.1.3	Logística del Suministro de Biocombustible.....	351
22.2	Consideraciones Ambientales.....	351
22.3	Consideraciones Económicas .....	352
	Referencias .....	353

# Lista de Figuras

Figura 1	Ranking Climatescope 2016 (Global-Climatescope, 2018).....	51
Figura 2	Matriz energética primaria año 2015 (Comisión Nacional de Energía, 2016) .....	53
Figura 3	Matriz energética secundaria año 2015 (Comisión Nacional de Energía, 2016).....	53
Figura 4	Balance nacional de energía (Comisión Nacional de Energía, 2017).....	54
Figura 5	Participación % regional y energía aportada (Comisión Nacional de Energía, 2017).....	56
Figura 6	Balance energético mensual año 2016 (Coordinador Eléctrico Nacional, 2017) .....	58
Figura 7	Matriz energética de Brasil al 2012 (Loaiza Navarro, 2015).....	64
Figura 8	Matriz energética primaria en Chile (Comisión Nacional de Energía, 2016).....	66
Figura 9	Total Nacional de generación eléctrica (Coordinador Eléctrico Nacional, 2017) .....	67
Figura 10	Aporte de la biomasa al total Nacional ERNC (Comisión Nacional de Energía, 2017).....	68
Figura 11	Evolución precio nominal energía eléctrica (Coordinador Eléctrico Nacional, 2017) .....	69
Figura 12	Uso de la biomasa como fuente de energía térmica en Chile (CIFES, 2016).....	69
Figura 13	Superficie total y recurso forestal en la región de Los Ríos (INFOR, 2017).....	74
Figura 14	Reforestación por especies región de Los Ríos (CONAF, 2017) .....	77
Figura 15	Reforestación plantaciones región de Los Ríos promedio (Forestal, 2018) .....	78
Figura 16	Superficie de plantaciones exóticas por comuna región de Los Ríos (Forestal, 2018).....	78
Figura 17	Flujo de biomasa residual en plantaciones exóticas por comuna (Forestal, 2018) .....	79
Figura 18	Ubicación y distribución de la industria regional del aserrío (INFOR, 2017) .....	82
Figura 19	Especies utilizadas en aserraderos de la región de Los Ríos (INFOR, 2017).....	83
Figura 20	Producción residuos/desechos forestales aserraderos región de Los Ríos (INFOR, 2017) .	84
Figura 21	Área de estudio (Forestal, 2018).....	87
Figura 22	Superficie neta de BN y plantaciones exóticas (Forestal, 2018).....	92

Figura 23 Distribución de biomasa aprovechable desde BN (Forestal, 2018) .....	104
Figura 24 Distribución de biomasa aprovechable desde plantaciones exóticas (Forestal, 2018).....	105
Figura 25 Flujo de biomasa aprovechable BN y plantaciones (Forestal, 2018).....	107
Figura 26 Flujo de biomasa aprovechable de BN y plantaciones exóticas (Forestal, 2018).....	111
Figura 27 Potencia instalada en centrales de bioenergía forestal (LIGNUM, 2017) .....	115
Figura 28 Potenciales usos energéticos de la biomasa forestal (FCI, 2018) .....	117
Figura 29 Sector Campus Teja UACH para sistema de calefacción distrital (UACH, 2015).....	120
Figura 30 Clasificación del origen de la materia prima .....	131
Figura 31 Clasificación de los tipos de propietarios abastecedores de materia prima .....	132
Figura 32 Clasificación de especies forestales consumida por la industria primaria .....	133
Figura 33 Producción anual promedio de la industria primaria .....	133
Figura 34 Clasificación de los tipos de desechos generados por la industria primaria .....	134
Figura 35 Destino de ventas de desechos generados por la industria primaria .....	134
Figura 36 Usos de los desechos producidos por la industria primaria .....	135
Figura 37 Aprovechamiento de los desechos producidos por la industria primaria.....	135
Figura 38 Tipo de energía consumida por la industria primaria .....	136
Figura 39 Razones de competitividad de planta de generación eléctrica.....	137
Figura 40 Costo de suministro de biomasa .....	156
Figura 41 Costo de transporte de biomasa .....	157
Figura 42 Radios de transporte según nivel de abastecimiento de BN .....	157
Figura 43 Radios de transporte según nivel de abastecimiento de residuos.....	158
Figura 44 Flujo anual de residuos de cosecha de plantaciones de <i>Eucaliptus sp.</i> .....	160
Figura 45 Flujo anual de residuos de cosecha de plantaciones de <i>PR</i> .....	161
Figura 46 Curva de costos marginales según requerimientos de suministro.....	161
Figura 47 Costos de suministro de biomasa residuos.....	162
Figura 48 Costos de suministro de biomasa BN .....	162

Figura 49	Costos de abastecimiento de biomasa por polígono por rangos en USD/TS.....	163
Figura 50	Costos de suministro según fuente de oferta de biomasa.....	164
Figura 51	Potenciales usos energéticos de biomasa forestal.....	173
Figura 52	Fases de conversión de biomasa forestal para su uso energético.....	174
Figura 53	Proceso de recolección de biomasa (Loaiza Navarro, 2015).....	175
Figura 54	Esquema de recolección centralizado (Loaiza Navarro, 2015).....	175
Figura 55	Esquema de recolección descentralizado (Loaiza Navarro, 2015).....	176
Figura 56	Acopio/transporte biomasa empaquetada (Agencia Extremeña de la Energía, 2008).....	176
Figura 57	Proceso de combustión directa.....	181
Figura 58	Esquema de generación de energía eléctrica (García Rojas and Sosa Moreno, 2010).....	182
Figura 59	Calderas y autoclaves en región de Los Ríos.....	184
Figura 60	Combustibles consumidos por calderas y autoclaves de la región de Los Ríos.....	184
Figura 61	Planta tipo de proceso de pirolisis (Grau and Farré, 2011).....	188
Figura 62	Principales aplicaciones de la gasificación de biomasa (Martínez Lozano, 2009).....	189
Figura 63	Factores que afectan la generación eléctrica (IRENA, 2017).....	191
Figura 64	Metodología evaluación económica de proyectos.....	195
Figura 65	Etapas, objetivos y acciones de evaluación de proyectos (Chain, 2007).....	197
Figura 66	Sector Campus Teja UACH para sistema de calefacción distrital.....	202
Figura 67	Ahorro reemplazo diésel por astillas.....	205
Figura 68	Ubicación edificios considerados en proyecto (EBP Chile SpA, 2017).....	209
Figura 69	Trazado matrices de calefacción de proyecto (EBP Chile SpA, 2017).....	209
Figura 70	Ahorro reemplazo diésel por astillas.....	212
Figura 71	Emplazamiento proyecto de calefacción distrital Campus Miraflores.....	214
Figura 72	Vista de planta diseño sala de calderas propuesto por fabricante (KWB, 2018).....	218
Figura 73	Plano alzado diseño sala de calderas propuesto por fabricante (KWB, 2018).....	219
Figura 74	Ahorro reemplazo diésel por astillas.....	223



Figura 75	Energía eléctrica consumida por Aserraderos Timberni 2017 (Timberni, 2018) .....	228
Figura 76	Costos de abastecimiento de biomasa por polígono por rangos en USD/TS .....	230
Figura 77	Mapa de calor de disponibilidad de biomasa región de Los Ríos (IBOS-FCI, 2018) .....	233
Figura 78	Procesos planta pelletizadora.....	235
Figura 79	Planta de producción de pellet móvil (GEMCO ENERGY, 2017).....	236
Figura 80	Planta de producción de pellet de madera móvil (WHIRLSTON, 2017) .....	237
Figura 81	Planta peletizadora de mediana escala (WHIRLSTON, 2017).....	237
Figura 82	Planta peletizadora de gran escala (Pellets San Gregorio, 2018).....	238
Figura 83	Proceso de briquetado (Pottinger, 2017).....	240
Figura 84	Proceso productivo y de generación planta Arauco Valdivia (Arauco, 2018b).....	244
Figura 85	Mapa de calor de disponibilidad de biomasa para planta Arauco Valdivia.....	246
Figura 86	Mapa de calor de disponibilidad de biomasa para planta Colun.....	248
Figura 87	Ubicación y distribución de la industria regional del aserrío (INFOR, 2017) .....	302
Figura 88	Distribución provincial de la industria regional del aserrío .....	302
Figura 89	Tipo de aserraderos en la industria regional del aserrío (Forestal, 2018) .....	303
Figura 90	Principales especies madereras utilizadas en los aserraderos de la región de Los Ríos ....	304
Figura 91	Producción anual en aserraderos de la región de Los Ríos (INFOR, 2017) .....	305
Figura 92	Principal producción de aserraderos de la región de Los Ríos (INFOR, 2017).....	306
Figura 93	Cadena de valor de la Pyme maderera región de Los Ríos (PROFO, 2017) .....	308
Figura 94	Clasificación de los tipos de desecho generados por la industria primaria.....	309
Figura 95	Destino de ventas de desechos generados por la industria primaria .....	309
Figura 96	Usos de los desechos producidos por la industria primaria .....	310
Figura 97	Aprovechamiento de los desechos producidos por la industria primaria.....	310
Figura 98	Mapa de calor de disponibilidad de biomasa residual (Forestal, 2018).....	311
Figura 99	Disponibilidad teórica total residuos y desechos región de Los Ríos (Forestal, 2018) .....	313
Figura 100	Disponibilidad probable total residuos y desechos región de Los Ríos (Forestal, 2018)	314

Figura 101 Concepto de territorio y gestión territorial (Forestal, 2018) .....	320
Figura 102 Estructura de la estrategia de desarrollo propuesta (Forestal, 2018) .....	336

# Lista de Tablas

Tabla 1	Resumen capacidad instalada y generación mensual (Comisión Nacional de Energía, 2017)	55
Tabla 2	Evolución de las ERNC en la última década (Reporte Minero, 2017).....	57
Tabla 3	Uso ERNC países Norte de Europa.....	62
Tabla 4	Resumen comparativo de ERNC en Sudamérica .....	64
Tabla 5	Uso de biomasa para generación térmica en Chile (AChBiom, 2018) .....	70
Tabla 6	Biomasa potencial a partir de residuos/desechos industria primaria (INFOR, 2017) .....	85
Tabla 7	Aserraderos con producción de residuos/desechos (INFOR, 2017).....	85
Tabla 8	Restricciones para estimar la superficie neta manejable (Forestal, 2018).....	90
Tabla 9	Superficie bruta y neta de BN con fines productivos 2017 (Forestal, 2018) .....	90
Tabla 10	Disponibilidad física de biomasa aérea por especie en cosecha final (Forestal, 2018).....	94
Tabla 11	Propiedades físicas de la biomasa forestal (Burgos-Olavarria, Guineo et al., 2015) .....	95
Tabla 12	Superficie neta de la región de Los Ríos.....	100
Tabla 13	Superficie por tipo de propiedad/rango de edad de plantaciones exóticas (Forestal, 2018)	101
Tabla 14	Superficie por tipo de propiedad y especie (Forestal, 2018).....	101
Tabla 15	Flujo anual de biomasa región de Los Ríos (Forestal, 2018).....	103
Tabla 16	Biomasa aprovechable por tipo forestal (Forestal, 2018).....	106
Tabla 17	Flujo de biomasa residual en plantaciones exóticas (Forestal, 2018) .....	106
Tabla 18	Resumen casos estudiados región de Los Ríos (FCI, 2018) .....	125
Tabla 19	Densidad y factores de conversión volumétricos de la madera.....	141
Tabla 20	Factores de equivalencia volumétrica .....	141
Tabla 21	Costos de producción astillado a orilla de camino .....	143
Tabla 22	Costos de producción astillado en central de biomasa .....	143

Tabla 23	Costos de producción astillado como subproducto de producción de leña.....	145
Tabla 24	Estimación de producción de biomasa residual .....	150
Tabla 25	TS/año de biomasa residual potencial de la industria primaria región de Los Ríos.....	151
Tabla 26	Precios de leña nativa semihúmeda puesta en predio según especie dominante.....	151
Tabla 27	Estimación consumo de leña en región de Los Ríos .....	152
Tabla 28	Precios de astillas de residuos de la industria primaria .....	153
Tabla 29	Estimación del contenido de humedad de biomasa residual .....	153
Tabla 30	Propiedades físicas de la biomasa residual .....	154
Tabla 31	Costos de suministro de biomasa .....	155
Tabla 32	Disponibilidad teórica total de residuos de madera.....	158
Tabla 33	Distribución de superficie de plantaciones de <i>Eucaliptus sp.</i> ....	159
Tabla 34	Distribución de superficie de plantaciones de <i>PR</i> .....	160
Tabla 35	Disponibilidad de biomasa por rango de costos de suministro .....	164
Tabla 36	Potencia instalada de centrales de bioenergía forestal en Chile (LIGNUM, 2017) .....	170
Tabla 37	Propiedades fisicoquímicas de los biocombustibles (DMT, 2010).....	171
Tabla 38	Procesos termoquímicos de conversión de biomasa (Secretaría de Energía, 2008).....	178
Tabla 39	Comparación de tecnologías de calderas (García Rojas and Sosa Moreno, 2010) .....	182
Tabla 40	Catastro de calderas y autoclaves por comuna de la región de Los Ríos .....	185
Tabla 41	Operación automática de hornos a biomasa (García Rojas and Sosa Moreno, 2010).....	186
Tabla 42	Encendido de hornos con otros combustibles (García Rojas and Sosa Moreno, 2010) .....	186
Tabla 43	Tipos de pirolisis (Pinedo, 2013) .....	187
Tabla 44	Tecnologías de conversión a biocombustibles .....	190
Tabla 45	Estado y tendencias de tecnologías de conversión.....	193
Tabla 46	Costos fijos y variables de mantención y operación de tecnologías de conversión .....	194
Tabla 47	Costos de combustibles para evaluación técnico-económica de estudios .....	202
Tabla 48	Edificios del Camus Teja considerados en estudio de prefactibilidad 1 .....	203

Tabla 49 Consumo de combustible para estudio de prefactibilidad (UACH, 2015).....	203
Tabla 50 Características de astilla combustible H35% .....	204
Tabla 51 Ahorros reemplazo de diésel por astillas.....	205
Tabla 52 Parámetros económicos para evaluación.....	205
Tabla 53 Evaluación económica para astillas con H35% .....	206
Tabla 54 Edificios del Camus Teja considerados en estudio de prefactibilidad 2 .....	206
Tabla 55 Consumos y costos por uso de energía eléctrica en Campus Teja .....	207
Tabla 56 Costos unitarios de energéticos análisis de estudio Campus Teja.....	207
Tabla 57 Consumo de combustible para estudio de prefactibilidad 2 (EBP Chile SpA, 2017) .....	208
Tabla 58 Transformación de energéticos primarios .....	210
Tabla 59 Características de astilla combustible H55% .....	211
Tabla 60 Características del diésel .....	211
Tabla 61 Ahorros reemplazo de diésel por astillas.....	211
Tabla 62 Parámetros económicos para evaluación.....	212
Tabla 63 Evaluación económica para astillas con H35% .....	212
Tabla 64 Edificios considerados para el proyecto Campus Miraflores .....	213
Tabla 65 Carga térmica de los edificios considerados para el proyecto Campus Miraflores.....	214
Tabla 66 Equipos considerados para determinar la potencia de la central de biomasa.....	215
Tabla 67 Consumo de combustible para proyecto Campus Miraflores .....	217
Tabla 68 Características de astilla combustible H55% .....	218
Tabla 69 Características del diésel .....	218
Tabla 70 Equipos principales calderas KWB (KWB, 2018).....	219
Tabla 71 Estimación de costos de inversión .....	220
Tabla 72 Ahorros reemplazo de diésel por astillas.....	222
Tabla 73 Parámetros económicos para evaluación.....	224
Tabla 74 Evaluación económica con fuente de financiamiento recursos propios.....	224

Tabla 75	Evaluación económica con fuente de financiamiento crédito bancario .....	224
Tabla 76	Características aserraderos Timberni (Timberni, 2018).....	227
Tabla 77	Análisis térmico planta Aserraderos Timberni (Timberni, 2018) .....	227
Tabla 78	Estimación consumo de astillas.....	229
Tabla 79	Estimación costo anual de combustible .....	229
Tabla 80	Evaluación económica H50% y factor de planta 90% .....	229
Tabla 81	Clasificación de plantas pelletizadoras de acuerdo con capacidad.....	236
Tabla 82	Detalles técnicos de plantas pelletizadoras “Ring Die Wood” (WHIRLSTON, 2017) .....	238
Tabla 83	Condiciones de diseño de planta de secado de biomasa .....	242
Tabla 84	Resultados operacionales de la planta de secado .....	243
Tabla 85	Costos de inversión para secador de lecho fluidizado.....	243
Tabla 86	Estudio carga térmica.....	253
Tabla 87	Presupuesto de equipos optimizado .....	266
Tabla 88	Inversión inicial proyecto optimizado.....	267
Tabla 89	Evaluación económica proyecto optimizado.....	267
Tabla 90	Proyectos y normativa a aplicar .....	282
Tabla 91	Otros decretos y resoluciones aplicables.....	284
Tabla 92	Antecedentes generales de proyectos desarrollados.....	287
Tabla 93	Mano de obra especializada requerida .....	287
Tabla 94	Descripción de proyectos .....	289
Tabla 95	Descripción del equipamiento principal y auxiliar de las plantas .....	290
Tabla 96	Descripción de las obras civiles de las plantas.....	291
Tabla 97	Evaluación de RILES y RISES .....	292
Tabla 98	Descripción de la fase de construcción de proyectos .....	298
Tabla 99	Descripción de la fase de operación de proyectos.....	299
Tabla 100	Producción anual en aserraderos de la región de Los Ríos (INFOR, 2017).....	305

Tabla 101	Principal producción de aserraderos de la región de Los Ríos (INFOR, 2017).....	306
Tabla 102	Aserraderos que producen sobre 5.000 m <sup>3</sup> /año (INFOR, 2017) .....	307
Tabla 103	Disponibilidad teórica total de residuos de madera (Forestal, 2018) .....	312
Tabla 104	Diagnostico de condiciones de desarrollo de biomasa energética (Forestal, 2018) .....	331
Tabla 105	Descripción estructura de la estrategia de desarrollo propuesta.....	338
Tabla 106	Principales instrumentos para planificación regional del territorio (Forestal, 2018) .....	340
Tabla 107	Propuesta de responsables/líneas financiamiento para implementación de estrategia .....	344
Tabla 108	Indicadores relevantes de disponibilidad y abastecimiento (FCI, 2018).....	347
Tabla 109	Comparación de proyectos evaluados (FCI, 2018) .....	348

## Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Costos de transporte .....	113
Ecuación 2 Costos variables del Transporte de Biomasa.....	145



## Acrónimos

ACS	Agua Caliente Sanitaria
ACERA	Asociación Chilena de Energías Renovables
ACHbiom	Asociación Chilena de Biomasa
AfoA	Asociación Forestal Argentina
APL	Acuerdo de Producción Limpia
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASPP	Área Silvestre Protegida
ASTM	American Society for Testing and Materials
BaU	Business as Usual
BID	Banco Interamericano del Desarrollo
BN	Bosque Nativo
BR	Bosque Reforestado
CARRIER	Carrier Corporation
CH <sub>4</sub>	Metano
CEN	Coordinador Eléctrico Nacional
CIFES	Centro de Innovación y Fomento de Energías Renovables
CIREN	Centro de Información de Recursos Naturales
CMPC	Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones
CNE	Comisión Nacional de Energía
CNF	Corporación Nacional Forestal
CONAF	Corporación Nacional Forestal
CONAMA	Corporación Nacional del Medio Ambiente

CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
CNR	Comisión Nacional de Riego
COPEC	Compañía de Petróleos de Chile
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COT	Carta de Ocupación de la Tierra
CPR	Comercial, Público y Residencial
CT	Costo Transporte
DFL	Decreto con Fuerza de Ley
DIA	Declaración de Impacto Ambiental
DS	Decreto Supremo
EC	Energías Convencionales
EF	Empresas Forestales
EIA	Estudio de Impacto Ambiental
EMSEFOR	Empresas de Servicios Forestales
ENAP	Empresa Nacional del Petróleo
ERB	Estrategia Regional de la Biodiversidad
ERD	Estrategia Regional de Desarrollo
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
EETT	Especificaciones Técnicas
ESCO	Energy Service Company
FACFOREN	Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales
FAO	Food and Agriculture Organization
FCI	Facultad de Ciencias de la Ingeniería
FIBN	Fondo de Investigación del Bosque Nativo
FIE	Fondo de Inversión Estratégica
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial

FNDR	Fondo Nacional de Desarrollo Regional
FOGAIN	Fondo Garantía Inversión
FOGAPE	Fondo Garantía para Pequeños Empresarios
FPBRF	Flujo Potencial de Biomasa Residual Forestal
FSC	Forest Stewardship Council
GEF	Global Environment Facility
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GIF	Gran Industria Forestal
GLP	Gas Licuado de Petróleo
GNC	Gas No Condensable
GORE	Gobierno Regional
IBOS	Instituto de Bosques y Sociedad
IDEA	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle
IMA	Incremento Medio Anual
INFOR	Instituto Forestal
INIA	Instituto de Investigación Agropecuarias
INN	Instituto Nacional de Normalización
INDAP	Instituto de Desarrollo Agropecuario
IPM	Industria Primaria de la Madera
IRENA	International Renewable Energy Agency
ITO	Inspector Técnico de Obra
IUCN	International Union for Conservation of Nature
IVA	Impuesto al Valor Agregado
KWB	Kraft und Wärme aus Biomasse
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio

MINAGRI	Ministerio de Agricultura
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MP	Material Particulado
MR	Metro Ruma
NCh	Norma Chilena
NEF	No Empresa Forestal
NOx	Óxidos de Nitrógeno
ODEPA	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
OIT	Organización Internacional del Trabajo
ONG	Organización No Gubernamental
OTIC	Organismo Técnico Intermedio de Capacitación
O <sub>3</sub>	Ozono
PDI	Programa Desarrollo de Inversiones
PIB	Producto Interno Bruto
PPPF	Programa Protección al Patrimonio Familiar
PR	Pinus Radiata
PRA	Programa de Riego Asociativo
PRC	Planes Reguladores Comunes
PRDPA	Política Regional de Desarrollo Pesquero y Acuícola
PRI	Periodo de Recuperación de la Inversión
PRI	Programa de Riego Intrapredial
PRI	Plan Regulador Intercomunal
PROFO	Proyectos Asociativos de Fomento
PVC	Polivinilo Cloruro
PYME	Pequeña y Mediana Empresa
PYMEMAD A.G.	Asociación Gremial de Pequeñas y Medianas Empresas Madereras

RCA	Resolución Calificación Ambiental
RETC	Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes
RISE	Regulatory Indicator for Sustainable Energy
RO	Renewables Obligation
ROC	Renewables Obligation Certificates
SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustibles
SEIA	Sistema Evaluación Impacto Ambiental
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SERCOTEC	Servicio de Cooperación Técnica
SEREMI	Secretaria Regional Ministerial
SIC	Sistema Interconectado Central
SIG	Sistema Información Geográfica
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SNASPE	Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado
SING	Sistema Interconectado Norte Grande
SMACNA	Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association
SO <sub>x</sub>	Óxidos de Azufre
S/I	Sin Información
S/R	Surtidor y Repartidor
TDA	Tablero de Alumbrado
TDFC	Tablero de Calefacción
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TIR	Tasa Interna de Retorno
TS	Tonelada Seca
UACH	Universidad Austral de Chile
UDT	Unidad de Desarrollo Tecnológico

UF	Unidad de Fomento
UK	United Kingdom
UNTEC	Universidad y Tecnología
USD	United States Dollar
VAN	Valor Actual Neto
VAC	Valor Actual de Costos
VASER	Volumen Aserrable
VB	Volumen Bruto
VC	Volumen Copa
VDEB	Volumen Debobinable
VLEÑA	Volumen Leña
VN	Volumen Neto
WHRS	Waste Heat Recovery System
WOG	Water, Oil or Gas

## Nomenclatura

MJ	Mega Joule
kJ	kilo Joule
MW	Mega Watt
kW	kilo Watt
kWh	kilo Watt hora
mca	metros columna de agua
m <sup>3</sup> s	metro cubico solido
m <sup>3</sup> ssc	metros cúbicos solidos sin corteza
m <sup>3</sup> est	metro cubico estéreo
TS/año	tonelada seca al año

## Definiciones

**Astilla:** trozo de leña dividido o no en sentido longitudinal y que en sentido transversal pasa por un anillo de diámetro 16 cm. La astilla se denomina diferente según la zona del país, tales como: leño, palo de leña, trozo de leña, entre otros (INN, 2015a).

**Contenido de Humedad:** cantidad de agua contenida en la leña, expresada en porcentaje en relación con masa anhidra (INN, 2015a).

**Densidad Básica:** relación entre la masa de la leña en estado anhidro, seco, y su volumen en estado verde (INN, 2015a). Este valor difiere entre las distintas especies de leña.

**Despunte:** residuos de madera de tamaño variable, proveniente de la industria maderera y correspondiente a secciones terminales de piezas provenientes del aserrío o la elaboración de la madera (INN, 2015a).

**Especie Nativa:** leña proveniente de árboles nativos de la zona. Dentro de este grupo se consideran Espino, Hualle de Roble, Raulí, Coigüe, Lingue, Ulmo, Tepu, Luma, Lenga, Ñirre y Álamo (Burgos-Olavarría, Guineo et al., 2015).

**Especie Exótica:** leña proveniente de árboles traídos a la zona. Dentro de este grupo se consideran Eucalipto, Pino, Frutales y Aromo (Acuña, Cancino et al., 2017).

**Leña Húmeda:** aquella con un contenido de humedad mayor o igual que 30%. No apto para uso como combustible sólido (INN, 2015a).

**Leña Seca:** aquella que posee un contenido de humedad menor o igual a 25% (INN, 2015a).

**Leña Semi-Húmeda:** aquella que posee un contenido de humedad entre 25% y 30% (INN, 2015a).

**Metro Cúbico Estéreo Trozado o Picado:** corresponde a una pila de leña circunscrita a un cubo de 1 m de largo, 1 m de ancho y un 1 m de alto, incluyendo los espacios de aire entre los trozos de leña. Es la unidad de comercialización más usada (Loaiza Navarro, 2015).

**Metro Cubico Sin Trozar:** corresponde a una pila de leña formada por trozos de 1 m de largo ordenadas en forma paralela completando 1 m de alto por 1 m de ancho (Loaiza Navarro, 2015).



**Metro Cubico Sólido:** volumen de leña apilada, cuya dimensión es de 1 m de largo, 1 m de ancho y 1 m de alto, que queda luego de descontar los espacios entre los trozos de leña de la pila (INN, 2015a).

# Primer Informe de Avance

## Introducción

La contaminación y el uso indiscriminado de recursos no renovables, ha motivado la implementación de políticas públicas que incorporen tecnologías alternativas en la matriz energética, que, junto con disminuir el nivel de emisiones, buscan reducir la dependencia de energía importada.

La biomasa forestal es una importante fuente de recursos renovables y se perfila como un biocombustible sustentable para la producción de diversas energías limpias, dado el actual avance de las tecnologías.

En nuestro país, existe un potencial importante de generación de energía, a partir de los usos de biomasa forestal. Esta biomasa viene de la importante oferta de bosques existentes, que cubren una superficie de 17,14 millones ha, lo que representa el 22,9% de la superficie del territorio nacional. De ellas, aproximadamente 14,18 millones ha, 18.7% del territorio nacional, son BN y 2,96 millones ha, corresponden a plantaciones forestales (CONAF, 2013).

La biomasa forestal destinada al consumo de leña, derivados de leña (briquetas de biomasa, pellets de biomasa, carbón vegetal, despunte de madera), licor negro. Al año 2015, el consumo final de biomasa presentó una baja de un 7% con respecto al 2014. Esto explicado principalmente a la baja que registró el consumo final de biomasa en el sector industrial de 11%. Ahora bien, el consumo residencial registró un crecimiento de 1% con respecto al año anterior. Eso sí, cabe mencionar y destacar que durante el año 2015 el sector comercial y público, a lo largo de todo el territorio nacional, anotó una baja en el consumo de biomasa de un 64%.

Uno de los objetivos principales de las políticas públicas, a nivel nacional, ha sido determinar la cantidad y calidad de la biomasa forestal disponible en el país para proyectos de energía, así como estudiar las distintas tecnologías disponibles, con objeto de optimizar los usos de la biomasa forestal y fomentar el desarrollo de proyectos de generación de energía.

## Justificación desde las Políticas Públicas

- J) **8 millones de TS/año**, sería la disponibilidad de materia prima:
  - Según INFOR y la Comisión Nacional de Energía, esta sería la disponibilidad, por parte baja, de materia prima para negocios de cogeneración de energía a partir de biomasa forestal. Esto no considera la biomasa agrícola, los desechos urbanos y la eventual incorporación de cultivos forestales de corta rotación.
  - Catastros realizados por la Comisión Nacional de Energía y el Instituto Forestal en 2007 a los aserraderos en Chile, señalan que los residuos energéticamente aprovechables que produce la industria son cercanos a 5.540.000 m<sup>3</sup> sin corteza, volumen anual, lo que equivale a unas 3.250.000 ton de biomasa.
- J) **Oportunidad de negocio latente**, para la industria primaria y secundaria de la madera. En especial a la pequeña y mediana industria del sector.
  - Existen incentivos para la investigación y el desarrollo de nuevos negocios asociados al uso de la biomasa como fuente de energía. En el sentido, del trabajo silvícola como aserraderos e industrias de primera transformación.
  - Oportunidad de generación de nuevos empleos y posibilidad de nuevas inversiones dado un negocio energético rentable.
- J) **Disponibilidad de financiamiento estatal**. Tanto Corfo, como algunos ministerios, ambiente y energía, han desarrollado líneas de financiamiento a proyectos de investigación y de desarrollo en materia de generación de energía a partir de biomasa, en materias de:
  - Cultivos dendroenergéticos.
  - Tecnologías de conversión.
  - Procesos de obtención de la materia prima desde los bosques o de la industria forestal en forma secundaria.
- J) **Residuos forestales y BN**. Existencia de recursos de biomasa forestal, residuos, en condiciones favorables, renovable y sin rentabilizar por restricción de protección, concentrado en el BN:
  - Existe la oportunidad de aprovechamiento de una importante disponibilidad de biomasa forestal.
  - El BN en especial, ha sufrido en las últimas décadas un abandono generalizado, y en algunos casos la falta de gestión ha acarreado problemas por no uso del recurso, al que no se encuentra mercados.



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

# 1. Características del Mercado Energético en Chile

Una de las principales características del mercado energético en Chile, está dado por la relevancia que tiene el sector eléctrico. En este sentido, este mercado, considerado como un monopolio natural, la totalidad de la inversión y operación en infraestructura energética fue traspasada al mercado, con regulación y hoy en día, se sustenta en la acción de capitales privados. Esta estructura fue incorporada a través de la Ley General de Servicios Eléctricos, DFL N°1 de 1982.

Los agentes de mercado que participan en el sector se dividen en tres segmentos:

- ) Generadores
- ) Transmisores
- ) Distribuidores

Mientras que los clientes son clasificados como:

- ) Regulados
- ) Libres

Al ser un monopolio natural, regido por la ley, el Estado sólo cumple labores de fiscalización y planificación indicativa de inversiones en generación y transmisión. El Estado incentiva a través de la definición de tarifas eficientes al sector privado, pero este no tiene la obligación de actuar en forma distinta. Por lo anterior, el incentivo al desarrollo de proyectos de tipo Energías Renovables No Convencionales, ERNC, es reducido por la rentabilidad económica y rápido retorno financiero de las inversiones, que generan proyectos de Energías Convencionales, EC.

## 1.1 Marco Legal, Leyes y Decretos

En nuestro país, las leyes y decretos que norman el mercado de generación, transmisión y distribución, son las siguientes:

### **1.1.1 Leyes y Decretos de Energía Eléctrica**

#### **1.1.1.1 DFL N°1 de 1982 – Ley General de Servicios Eléctricos.**

Esta es la norma general que establece los estatutos y garantías básicas del sistema eléctrico chileno. Define los tres sistemas básicos de Generación, Transmisión y Distribución, de la misma forma, cataloga a los clientes como regulados o libres.

#### **1.1.1.2 Ley 19.613**

Esta Ley modifica la Ley 18.410, orgánica de la superintendencia de electricidad y combustible y el DFL N°1 de 1982, con el objeto de fortalecer el régimen fiscalizador del sector.

#### **1.1.1.3 Ley 19.674**

Esta ley, desde el punto de vista de la injerencia en el sector, es muy relevante dado que regula la tarificación de la producción, el transporte, la distribución, el régimen de concesiones y tarifas de energía eléctrica y las funciones del Estado relacionadas con estas materias.

#### **1.1.1.4 Ley 19.940 – Ley General de Servicios Eléctricos**

Esta ley es denominada Ley Corta 1, modifica el DFL N°1 de 1982 y garantiza los ingresos de las empresas de transmisión, eliminando las barreras de transporte a la competencia en producción y facilita la comercialización de electricidad al interior de las zonas de concesión de las empresas de distribución, todo ello con rentas reguladas.

Además, esta ley clasifica a estos sistemas en Troncales, de Sub-transmisión y Adicionales. Se entiende que los pequeños medios de generación y en particular los propietarios de dichos medios están libres del pago total por concepto de inyección de electricidad.

Es importante señalar que esta ley define que se da un subsidio a los generadores mayores a 9 MW hasta 20 MW de manera proporcional a su capacidad. Esta situación se lleva a la práctica, cuando el conjunto eximido no supere el 5% de la capacidad en el sistema eléctrico. Es importante mencionar, que el subsidio debe aportarse por los demás generadores a cuota de sus propias inyecciones. Para proyectos menores a 9 MW la exención es total.

#### **1.1.1.5 Ley 20.018 – Ley General de Servicios Eléctricos**

Esta ley es denominada Ley Corta 2, modifica el DFL N°1 de 1982 y declara que las empresas distribuidoras tienen la obligación, por ley, de entregar y satisfacer el total del consumo proyectado de

sus clientes, al menos por 3 años. Además, cataloga las restricciones de gas natural como no fortuitas. El principal objetivo de la ley y el decreto es dejar establecida la responsabilidad de cumplimiento del servicio a las empresas.

#### **1.1.1.6 Ley 20.257**

Ley sobre la obligación de generación en base a ERNC, establece que el 5% de los retiros efectuados por empresas generadoras que mantengan contratos de suministros firmados con fecha posterior al 1 de agosto de 2007, deben provenir de fuentes no convencionales.

Esta ley, definitivamente se ha convertido en una motivación para el uso de energías no convencionales, y el gobierno ha puesto gran énfasis en su cumplimiento. Además, establece que el porcentaje debe incrementarse 0.5% anual a partir de 2015, obteniendo un 10% de la generación en 2024.

Para el logro de este objetivo, las empresas generadoras que no usen esta tecnología de centrales ERNC propias, tienen la facultad de negociar y realizar transacciones en el mercado de la energía con empresas ERNC. Esto, sin lugar a duda, ha generado un incentivo y a la vez una gran oportunidad de nuevos negocios.

#### **1.1.1.7 Ley 20.698**

Esta ley modifica la Ley 20.257. Esta normativa, fija una cuota del 6% en el año 2014, la que debe aumentar y llegar al 20% en 2025. Sin lugar a duda, esta situación favorece la ampliación de la matriz energética, colocando como objetivo una nueva obligación de incorporación de las ENRC, que se llevan a la práctica en los contratos generados después del 1 de Julio de 2013.

### **1.1.2 Leyes y Decretos Relativos a Biocombustibles**

#### **1.1.2.1 Decreto N° 11/2008 del Ministerio de Economía.**

Este decreto tiene como objeto definir las especificaciones y requisitos de calidad para biodiesel y bioetanol, por otro lado, autoriza las mezclas de 2% y 5% con petróleo diésel y gasolina, y decreta por ley, el registro de personas e instituciones en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

#### **1.1.2.2 Circular N°30/2007 el Servicio de Impuestos Internos**

Esta Circular, señala que los biocombustibles, quedan sin la aplicación del impuesto específico según Ley 18.502/1986.



### **1.1.2.3 Ley N°20.339/2009**

Esta ley modifica el DFL N°1/1979 del Ministerio de Minería. Esta ley contempla e incluye a los biocombustibles como combustibles líquidos y le da facultades a la SEC para su fiscalización.

### **1.1.2.4 Resolución Exenta N°746**

Esta resolución, es una descripción acabada de la Norma técnica para análisis y/o ensayos para bioetanol y biodiesel en Chile por parte de la SEC.

### **1.1.3 Leyes y Decretos Relativos al Medioambiente**

La Ley 19.300, define el actuar referente a un proyecto de cogeneración en base a biomasa forestal. En específico, éstas van a influir dependiendo si se trata de obras de líneas de transmisión eléctrica, subestaciones, centrales generadoras, en función de un tamaño mínimo, de 3 MW. En el sistema de evaluación de impacto ambiental, de finen las normas y reglamentos a cumplir por el proyecto.

Algunas características del esquema de incentivos públicos a la inversión han sido la promulgación de reglamentos y normativas referentes al control y facilidad de acceso al sistema de las empresas pequeñas de generación o de ERNC.

## **1.2 Aportes Públicos y Subvenciones a las ERNC**

En la última década, el incentivo al desarrollo de las ERNC por parte del sector público se ha llevado a la práctica con el diseño e implementación de una serie de políticas públicas, basadas principalmente en uso de los llamados instrumentos económicos de fomento al desarrollo ambiental sustentable. Estos tienen como objeto implementar incentivos para el aumento del uso sustentable de este tipo de energías.

En particular, se ha puesto el énfasis, en el desarrollo de incentivos para el financiamiento, acceso a tecnologías, capacitación y las exenciones del pago de impuesto.

Entre los instrumentos económicos de tipo ambientales de fomento del Estado a las ERNC, se encuentran, hoy en día en varios ministerios y servicios públicos. Las principales instituciones que cuentan con instrumentos de financiamiento para proyectos de ERNC son las siguientes:

- ) Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU.
- ) Servicio de Cooperación Técnica, SERCOTEC.
- ) Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP.
- ) Comisión Nacional de Riego, CNR.

J Corporación de Fomento de la Producción, CORFO.

Existen distintas opciones de financiamiento administradas por diversas instituciones públicas. Las iniciativas de financiamiento pueden corresponder a subsidios, créditos, garantías estatales o beneficios tributarios. Estas iniciativas pueden ser nacionales o regionales, y también pueden estar orientadas a un sector económico específico.

El Ministerio de Energía recopila y pone a disposición la información sobre fuentes de financiamiento públicas de distintas entidades gubernamentales. Para solicitar o consultar sobre una fuente de financiamiento específica, hay que dirigirse a la institución estatal responsable.

A partir del Buscador de Fuentes de Financiamiento del Ministerio de Energía, que es una herramienta de acceso público, que recopila la información de diversas instituciones estatales que poseen líneas de financiamiento o cofinanciamiento para proyectos de ERNC a pequeña escala. El Anexo 1 – Tipos de Apoyo presenta información relevante de fuentes de financiamiento.

### **1.3 Energías Renovables en Chile**

Según el Ministerio de Energía, Chile ha confirmado su liderazgo en materia de energías renovables. Tenemos la radiación solar más alta del mundo, fuertes vientos de norte a sur para desarrollar energía eólica, un tremendo potencial de energía marina en nuestras costas, gran capacidad para desarrollar biogás y un recurso geotérmico a lo largo de nuestra cordillera.

La Figura 1 muestra que en la última versión del New Energy Finance Climatescope elaborado por Bloomberg New Energy Finance y el Banco Interamericano de Desarrollo, Chile alcanzó el primer lugar en inversión de energías renovables y en la lucha contra el cambio climático, en la región de América Latina y el Caribe (Ministerio de Energía, 2016).



Figura 1 Ranking Climatescope 2016 (Global-Climatescope, 2018)

Esto se debe principalmente a la inversión récord en proyectos de ERNC, que se ha más que duplicado: saltando de 1,3 mil millones de dólares en 2014 a 3,2 mil millones de dólares en 2015. El ranking, considera cuatro variables: Marco Propicio, Inversión, Cadena de Valor y Reducción de CO<sub>2</sub>.

### 1.3.1 Reporte Energético en Chile

El organismo público responsable del sector energético es el Ministerio de Energía, del cual depende la Comisión Nacional de Energía, CNE, organismo público y descentralizado. El objetivo de la CNE, de acuerdo con la Ley 20.402, es:

“La Comisión será un organismo técnico encargado de analizar precios, tarifas y normas técnicas a las que deben ceñirse las empresas de producción, generación, transporte y distribución de energía, con el objeto de disponer de un servicio suficiente, seguro y de calidad, compatible con la operación más económica”.

Sus principales funciones son:

- ) Analizar técnicamente la estructura y nivel de los precios y tarifas de bienes y servicios energéticos, en los casos y forma que establece la ley.
- ) Fijar las normas técnicas y de calidad indispensables para el funcionamiento y la operación de las instalaciones energéticas, en los casos que señala la ley.

- ) Monitorear y proyectar el funcionamiento actual y esperado del sector energético, y proponer al Ministerio de Energía las normas legales y reglamentarias que se requieran, en las materias de su competencia.
- ) Asesorar al Gobierno, por intermedio del Ministerio de Energía, en todas aquellas materias vinculadas al sector energético para su mejor desarrollo.

La CNE entrega un reporte anual, el “Anuario Estadístico de Energía 2016” (Comisión Nacional de Energía, 2016), en el cual, se detallan los principales indicadores del país del sector energético, en el período 2006 al 2016. Ahora bien, existe un documento denominado “Balance Nacional de Energía 2015”, que recopila los flujos de energía, como una manera de contabilizar la oferta de energía disponible en el país durante el año 2015, cuantificando cómo esta oferta fue consumida por los principales sectores de la economía nacional. Éste presenta los resultados principales del Balance Nacional de Energía y un análisis comparativo en años previos. Cabe destacar, que en el balance mencionado se presenta la matriz energética primaria y la participación que tiene los energéticos considerados considerando su producción, importación, exportación y variaciones de inventario de los energéticos. De acuerdo con este informe la Figura 4, representa la distribución porcentual de los diferentes componentes de la Matriz Energética Primaria en Chile para el año 2015 (Comisión Nacional de Energía, 2016; Comisión Nacional de Energía, 2017).

Es importante tener presente que las fuentes de energía primaria, que son importados o que posee el país, son transformados en energéticos útil, para ser aprovechados por la población y los distintos sectores productivos, la Figura 4 presenta estas consideraciones. En este diagrama la biomasa forestal y leña, es considerado un energético primario, el cual puede ser transformado para obtener energía eléctrica o para obtener energía térmica de uso industrial.

En el Anuario 2016, se presenta la siguiente información:

- ) Un 24% de la oferta de energía primaria, depende de la biomasa - biogás, año 2015. La Figura 2, representa la proporción por componente a la matriz energética primaria.
- ) Un 13% del consumo final según tipo de energético fue generado en base a biomasa. Figura 3, representa el porcentaje que aporta cada energético a la matriz secundaria durante el año 2015.
- ) En la región de Los Ríos un 63% de la energía que se consume proviene de biomasa. Los principales consumidores de energético de la región son, industria 39%, transformación que considera la generación de energía en base a una fuente primaria con un 28% y los consumidores comerciales, público y residencial, CPR con un 20%.

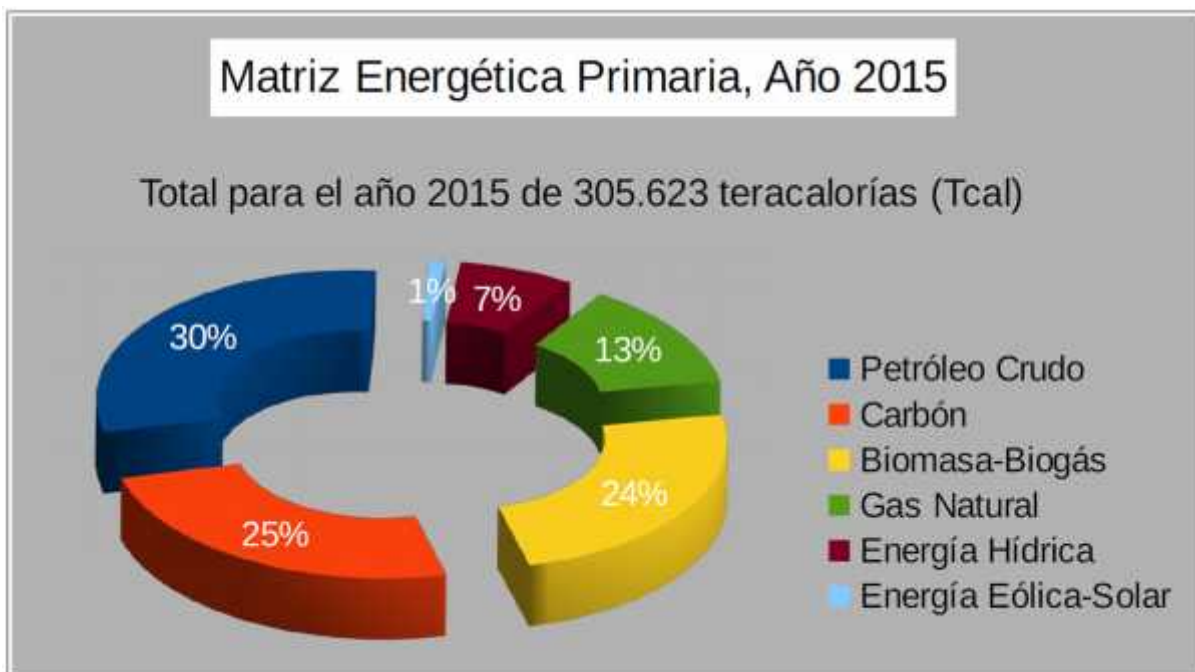


Figura 2 Matriz energética primaria año 2015 (Comisión Nacional de Energía, 2016)

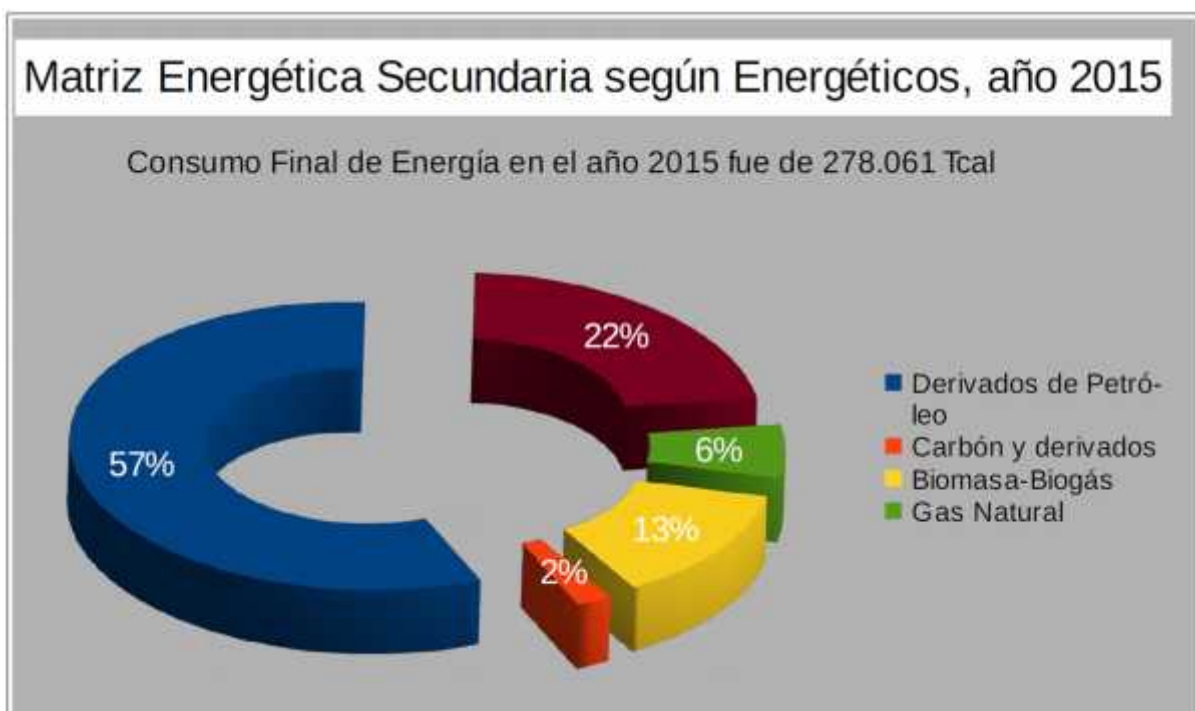


Figura 3 Matriz energética secundaria año 2015 (Comisión Nacional de Energía, 2016)

Cabe mencionar, que la matriz energética primaria en Chile fue de 305.623 Tcal, la cual, presentando una disminución respecto a la matriz del 2014 de 3%, se ve parcialmente explicado dado que, tres de sus energéticos con mayor importancia de la matriz primaria presentaron disminuciones en sus

consumos brutos, específicamente la biomasa disminuyó en 1%, respecto al 2014. Para contextualizar las proporciones presentadas en la Figura 3 y los flujos de cada tipo energéticos que se presentan en la Figura 4, es necesario mencionar, que como concepto de consumo final de energía, éste corresponde a la energía destinada a los sectores consumidores de la economía nacional, tanto para uso energético como no energético, bajo esos considerandos el Consumo Final de Energía en el año 2015 fue de 278.061 Tcal. En la Figura 4 se presenta el diagrama de flujos del Balance Nacional de Energía del año 2015, en el cual se resume las transacciones involucradas en la cadena energética nacional, considerando desde su adquisición o generación hasta sus transformaciones y consumos finales. Los arcos conectores corresponden aproximadamente a la proporción de su participación dentro de la matriz nacional en cada flujo.

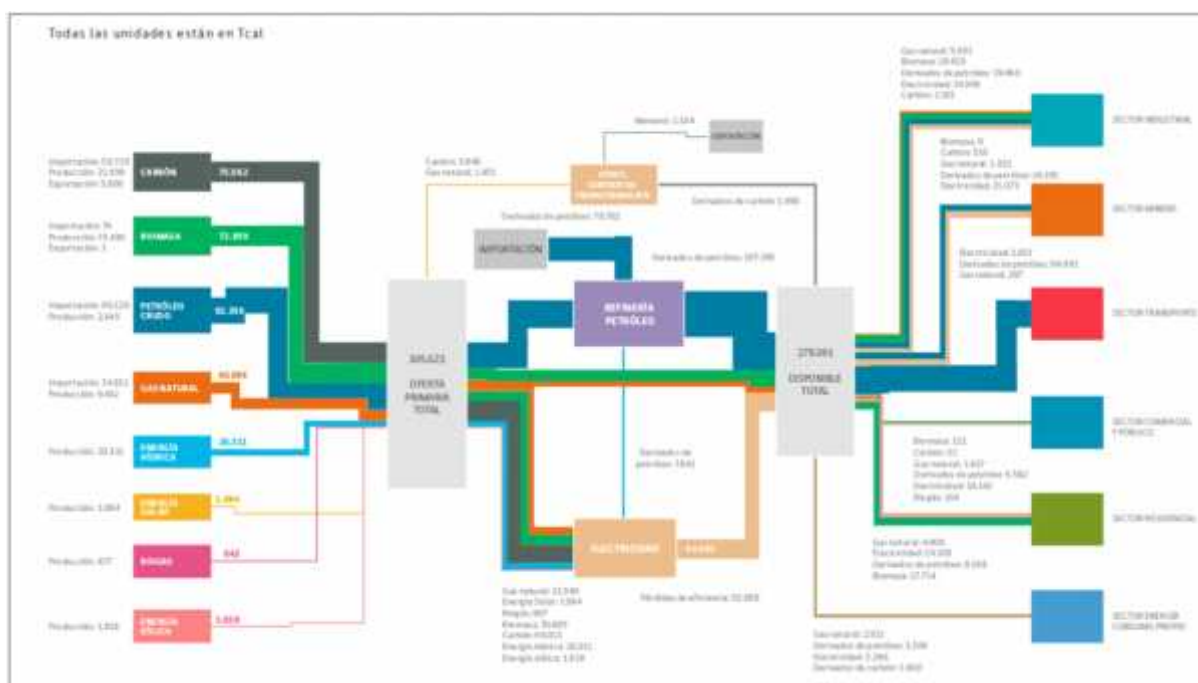


Figura 4 Balance nacional de energía (Comisión Nacional de Energía, 2017)

En nuestro país, existe una entidad, denominada Coordinador Eléctrico Nacional, CEN, que tiene la misión de recopilar las estadísticas e información del sector. Es un organismo técnico e independiente, encargado de la coordinación de la operación del conjunto de instalaciones del sistema eléctrico nacional que operen interconectadas entre sí. Es una corporación autónoma de derecho público, sin fines de lucro, con patrimonio propio y de duración indefinida. La organización, composición, funciones y atribuciones se rigen según lo establecido en la Ley N°20.936 y su reglamento.



En su reporte de agosto del 2017 (Coordinador Eléctrico Nacional, 2017), presenta un detalle de la energía eléctrica generada, en el sistema interconectado nacional, el cual se divide en dos; el Sistema Interconectado Norte Grande, SING, abastece principalmente de electricidad a la gran minería, y el Sistema Interconectado Central, SIC, que abastece de energía al resto del país. En el mes de julio de 2017 finalizó con 30 proyectos ERNC declarados en construcción. La capacidad instalada ERNC asciende a 17% o 3.990 MW, con casi un 83,8% interconectado al SIC. La inyección de centrales ERNC a la matriz durante el mes de julio de 2017 fue de 987 GWh, lo cual corresponde a un 15,4% de la generación total. El análisis por tecnologías indica una inyección de 204 GWh a partir de parque solares, 326 GWh con energía eólica, 167 GWh de centrales minihidráulica de pasada y 147 GWh a partir de biomasa. Cabe considerar, que en operación los proyectos con tecnología biomasa, también proyectos de biogás, poseen una capacidad instalada de 463 MW. Se señala que para el SIC, la energía generada durante julio 2017 fue 4.757 GWh, valor 2,6% superior a lo producido en julio 2016. La energía acumulada a la fecha, durante el año 2017, alcanzó los 32.239 GWh, un 2,1% superior a lo generado a similar fecha de 2016. Por otro lado, la demanda máxima del mes fue de 7.847 MW, el día 5 de julio de 2017.

Tipo	Fuente	Participa Balance ERNC	Capacidad Instalada (MW) – (%)		Generación Mensual (MWh/mes) – (%)	
<b>Hidroeléctrica</b>	Hidráulica Embalse	No	3.402,0	14,4	1.479,9	24,0
	Hidráulica Pasada	ERNC	394,6	1,7	158,2	2,6
		No	2.848,7	21,1	1.298,7	21,1
		Parcialmente	91,5	0,4	50,7	0,8
<b>Termoeléctrica</b>	Biogás	ERNC	59,7	0,3	16,4	0,3
	Biomasa	ERNC	250,3	1,1	57,2	0,9
		No	14,0	0,1	1,8	0,0
		Parcialmente	73,6	0,3	21,7	0,4
	Biomasa – Licor Negro	Parcialmente	6,0	0,0	2,2	0,0
	Biomasa – Petróleo N°6	No	82,0	0,3	25,5	0,4
	Carbón	No	4.404,6	18,7	1.588,2	25,8
	Carbón - Petcoke	No	760,0	3,2	214,9	3,5
	Gas Natural	No	4.481,0	19,0	427,6	6,9
	Petcoke	No	75,0	0,3	40,9	0,7
	Petróleo Diésel	No	3.027,8	12,8	30,2	0,5
	Propano	No	14,5	0,1	0,0	0,0
<b>Solar</b>		ERNC	2.141,5	9,1	427,7	6,9
<b>Eólica</b>		ERNC	1.419,7	6,0	307,4	5,0
<b>Geotérmica</b>		ERNC	55,0	0,2	7,7	0,1
<b>Total, General</b>			23.601,4	100,0	6.153,7	100,0

Tabla 1 Resumen capacidad instalada y generación mensual (Comisión Nacional de Energía, 2017)

El Coordinador Eléctrico Nacional presentó el último informe mensual a CNE disponible es aquel que presenta la operación del mes de noviembre del 2017 y la proyección de abastecimiento de la demanda para los próximos 12 meses, donde es factible recopilar una base de datos extensa que recopila finalmente, ver Tabla 1, la Capacidad Instalada en MW de los tipos, hidroeléctrica, termoeléctrica, solar, eólica y geotérmica, con la correspondiente generación mensual en MWh/mes, así siendo posible conocer el margen de cada tipo o fuente respecto a su aporte a la operación en el Sistema Eléctrico Nacional, SEN.

Este último informe mensual del Coordinador Eléctrico Nacional es posible conocer la participación de cada región en la producción de energía durante el mes de noviembre. Destacando que la región de Antofagasta, para este mes registró una producción de 1.788 GWh, lo cual representa el 29,1% de producción de energía nacional, la región con menor registro de producción ha sido Arica y Parinacota, representando solo un 0,1% de la producción de energía nacional. Cabe mencionar, que la región de Los Ríos solo registro una participación del 1,9% o 118,9 GWh de la producción de energía nacional para el mes de noviembre. La Figura 5, presenta en el anillo exterior la producción de energía por región y el anillo interno corresponde la participación porcentual en la producción de energía durante el mes de noviembre 2017.



Figura 5 Participación % regional y energía aportada (Comisión Nacional de Energía, 2017)

Ahora bien, en el reporte de enero se menciona que la energía generada en el SEN durante diciembre 2017 fue 6.498 GWh, siendo un 2,2% superior a lo producido en diciembre de 2016, considerando la



generación de los sistemas SING y SIC. La generación de energía acumulada el año 2017 alcanzó los 74.166 GWh, un 1,4% superior a lo generado en igual periodo de 2016 (Comisión Nacional de Energía, 2017).

En el mismo reporte, se puede apreciar, de una capacidad total de potencia eléctrica instalada de 23.412 MW, de este total, solo un 13,5% de esta es a partir de ERNC, aproximadamente 3.161 MW. Si bien, la generación a partir de fuentes de ERNC ha venido en aumento en los últimos 6 años, lamentablemente, este porcentaje ha sido un adicional y no un sustituto, que permita reemplazar las fuentes tradicionales de combustibles fósiles tales como el carbón, gas natural y el petróleo y de fuentes de energía tradicional como la hidroeléctrica.

El ministerio de energía actualizó sus cifras que dan cuenta del estado de avance de las ERNC en Chile, pasando de un 6,3% en marzo del 2014 a un 17% en agosto de 2017, con más de 4.441 MWh de energía, con un total de 253 centrales en operación. En el último reporte minero se detalla esta información, que, además señala la baja participación de las ERNC provenientes de biomasa, tal como se detalla en la Tabla 2.

Tipo	2006-2010	2010-2014	2014-2017	Total, Centrales ERNC en Operación
<b>Eólico</b>	6	4	19	30
<b>Solar</b>	0	5	66	71
<b>Mini hidro</b>	9	38	51	115
<b>Biomasa/biogás</b>	2	12	9	32
<b>Geotermia</b>	0	0	1	1
<b>Total, Centrales ERNC – Nuevas</b>	17	59	146	253
<b>Total, Capacidad ERNC (MW)</b>	308	542	3.363	4.441

Tabla 2 Evolución de las ERNC en la última década (Reporte Minero, 2017)

La Figura 6 muestra la variabilidad mensual que presenta la generación de energía, según el tipo de generación. Durante el mes de marzo se registró la menor generación de energía con biomasa, registrada durante el año, con 116,87 GWh, lo que representó un 21,6% de la generación de energía del mes, ahora en octubre la biomasa presentó una generación de energía 268,38 GWh, lo cual es un aumento de 129,6% respecto a la generación del mes de marzo del mismo año. Cabe mencionar, que la biomasa durante el mes de octubre la biomasa representó un 31,23% de la generación de energía del mes. En el ejercicio del año la biomasa en forma acumulada de los 12 meses significó un 29.07% de generación total del año de los tipos, hidráulica, eólica, solar y biomasa.

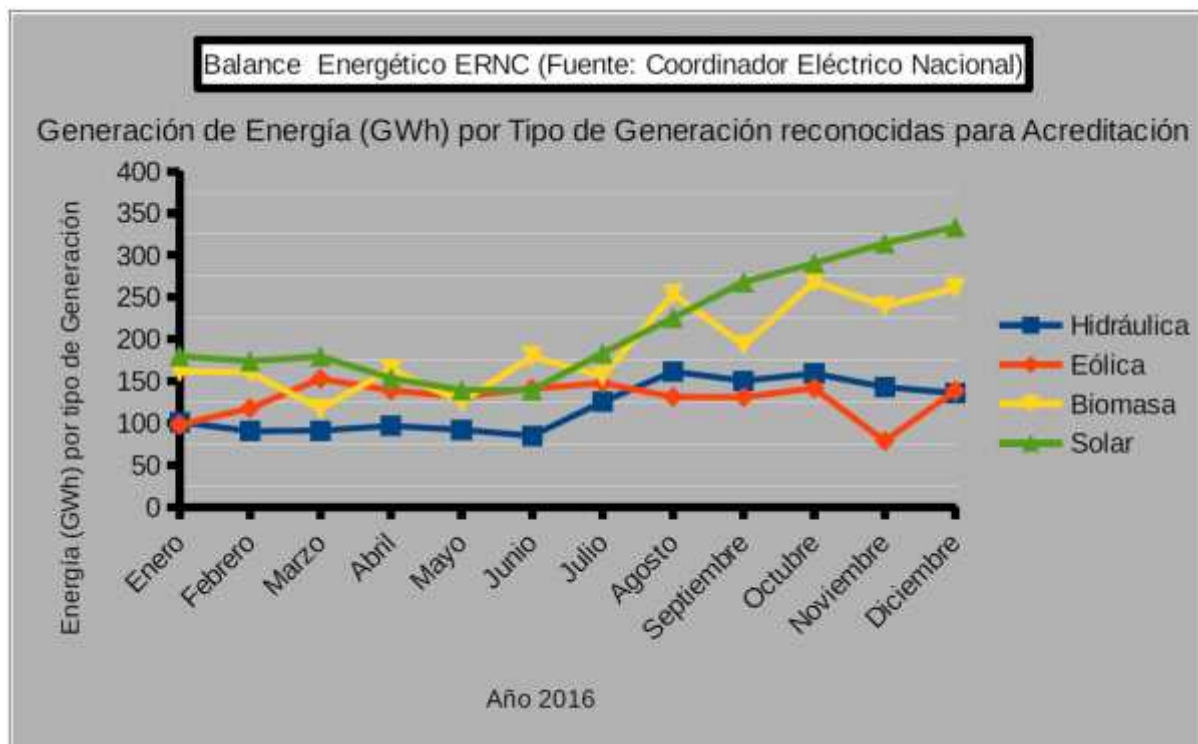


Figura 6 Balance energético mensual año 2016 (Coordinador Eléctrico Nacional, 2017)

## **2. Bioenergía a partir de la Biomasa Forestal; Experiencias Internacionales**

En el mundo, la obtención de biocombustibles a partir de biomasa orgánica es una tendencia al alza. Una serie de tratados internacionales lo confirman, y los países desde ya hace un par de décadas, han formulado e implementado políticas públicas para el desarrollo de energías a partir de biomasa, en especial de madera y bosques.

Uno de los aspectos relevantes que han llevado a los países a potenciar el desarrollo de la biomasa forestal como biocombustible, es la ausencia de la variabilidad temporal en la generación de energía eléctrica, debido a que si se posee un abastecimiento constante del recurso se podrá abastecer constantemente de energía, a diferencia de otras fuentes de energías renovables no convencionales como las eólicas y las solares.

A nivel nacional, después del cobre y de los productos del mar, salmón y harina de pescado, son los recursos forestales y sus derivados los que más se comercializan al extranjero. Lo anterior, implica una elevada producción industrial y la generación de una gran cantidad de desechos provenientes de sus procesos. En la mayoría de las grandes empresas forestales del país, hoy en día, estos desechos forestales y madereros son utilizados para la cogeneración de energía eléctrica. La cual es vendida al sistema interconectado central y, el resto, es utilizado para sus procesos industriales, secado entre otros.

### **2.1 Reino Unido**

El uso de biomasa, que incluye la forestal como fuente de energía en el reino unido es 7.4% (UK Government, 2017). La generación de energía es principalmente por combustión directa y/o con mezcla con carbón mineral. En el año 2002 se implementó el principal mecanismo de incentivo al uso de las energías renovables, el Renewables Obligation, RO, que obliga a los generadores de electricidad a generar un creciente porcentaje de su energía a partir de ENRC, excluyendo las hidroeléctricas de gran escala (Bellolio and Karelovic, 2011).

Los RO son comercializados a través de unos certificados, Renewables Obligation Certificates, ROC, y cuando los generadores no son capaces de cumplir con el porcentaje exigido por el estado, son multados y los recursos destinados a un fondo que se redistribuye a los proveedores que sí cumplen. Los RO, continúan hasta el 2017 y su número ha aumentado progresivamente con el pasar de los años.

Por otro lado, a través de subvenciones, se han desarrollado incentivos para proyectos de calefacción urbana, conocido como Bioenergy Capital Grants Scheme. El apoyo se dirige, principalmente a plantas de pequeña y mediana escala (Bellolio and Karelovic, 2011).

En el Reino Unido, el éxito del uso de este tipo de energías ha sido posible, por el apoyo de instituciones no estatales, que han desarrollado los proyectos y los han apoyado. En este sentido, destacan dos iniciativas; The Carbon Trust, empresa creada por el gobierno y el Energy Saving Trust que es una Organización No Gubernamental, ONG, que apoya el uso de este tipo de energías.

## 2.2 Dinamarca

El uso de biomasa forestal como fuente de energía en Dinamarca, al año 2009, es del 34% del total de la energía renovable que produce el país.

En Dinamarca se han desarrollado cuatro planes estratégicos entre 1976 y 2005, que tuvieron el foco en sus inicios de la protección del país ante eventuales crisis en el suministro energético mundial, pasando por el año 1981, poniendo énfasis en las consideraciones ambientales y socio económicas de reducción de la dependencia de los combustibles importados. En la década del 90', el tercer plan, tuvo como objetivo instalar un objetivo de desarrollo sustentable del sector energético. El cuarto plan, se focaliza en otorgar un rol central a la administración de los recursos locales (Bellolio and Karelovic, 2011).

Entre las medidas que destacan de los planes de desarrollo energéticos de Dinamarca, destacan:

- ) Incrementar el uso de energías renovables.
- ) Reducir emisiones.
- ) Reducir el consumo de carbón y petróleo.
- ) Incrementar el uso de paja y astillas de madera en la cogeneración.
- ) Conversión de sistemas de calefacción rurales de combustibles fósiles a biocombustibles.
- ) Aprobación de la "Ley de Suministro de Calor" de 1990 que fomenta la conversión de fuentes de combustibles fósiles, especialmente de pueblos rurales, a plantas de cogeneración en base a renovables.

Con el propósito de subvencionar la conversión de plantas de generación en base a combustibles fósiles a energías renovables, se elaboraron tres leyes de relevancia (Bellolio and Karelovic, 2011):

- J State-Subsidised Promotion of Decentralised Combined Heat and Power and Utilisation of Biomass Fuels Act. Bajo esta ley, es posible recibir subsidios de hasta un 50% de los costos de construcción.
- J State-Subsidised Electrical Power Generation Act. Se entregaban subsidios a la generación eléctrica con gas natural, paja y astillas.
- J State-Subsidised Completion of District Heating Nets. Bajo esta ley, hasta un 50% de los costos de construcción pueden ser subsidiados.

Por último, el año 1993, el Estado, a partir de un acuerdo político nacional, define la construcción de dos plantas de cogeneración o centrales a partir de biomasa:

- J Central Aabenraa, que consume un total de 120.000 ton de paja y 30.000 ton de astillas de madera al año.
- J Central Masnedo, que consume un total de 40.000 ton de paja y 10.000 ton de astillas de madera al año.

### 2.3 Finlandia

El uso de biomasa forestal como fuente de energía en Finlandia, al año 2006, es del 87% del total de la energía renovable que produce el país. Más de la mitad de esta energía de biomasa forestal proviene de desechos de la industria forestal. Esto se realiza a través de astillas de madera, similar a Dinamarca.

El apoyo a la generación de energías renovables está compuesto por diferentes instrumentos (Bellolio and Karelovic, 2011):

- J Subsidios de inversión: La construcción de plantas de energía renovable es cofinanciada por el gobierno con subvenciones de hasta un 40% en el caso de plantas eólicas. En los años recientes, las plantas de biomasa forestal para la producción de energía y combustible han sido las más favorecidas por este esquema, 60% de total de subsidios en el año 2006.
- J Devolución de impuestos para proveedores de energía renovable: El gobierno impone un impuesto por kWh a todos los proveedores de energía del país. Parte de estos impuestos son reembolsados para proveedores de energía eólica y otras tecnologías admisibles.
- J Incentivos fiscales para calefacción y refrigeración: Exención de impuestos sobre la emisión de gases de efecto invernadero para fuentes de energía renovable.

En Finlandia existe el Plan Nacional Forestal (Unasylva, 2005), donde se han generado las indicaciones y lineamientos para promover el uso de la madera, incrementar el uso de la biomasa forestal como energía y asegurar las condiciones necesarias para mejorar la competitividad de la industria forestal y maderera.

## 2.4 Comparativo Países Norte de Europa

La Tabla 3 presenta un resumen comparativo, de los países del norte de Europa, analizados en el acápite anterior, respecto del uso e incentivo de las ERNC.

	Reino Unido	Dinamarca	Finlandia
<b>Definición de % de Biomasa ERNC</b>	Hasta el 2027, aumento progresivo de un 20%	Al año 2009, es del 34% del total ERNC	Al año 2006, es del 87% del total ERNC.
<b>Legislación Propia y Políticas públicas</b>	Sistema de certificados verdes - RO	4 planes estratégicos desde 1976 a 2005.	Si, desarrollados desde la década del 2000.
<b>Subvenciones</b>	Sí, definidas en legislación	Sí, definidas en leyes.	Subsidios de inversión. Devolución de impuestos para proveedores de energía renovable. Incentivos fiscales para calefacción y refrigeración.
<b>Multas</b>	Multas e incentivos a las generadoras	Existen y son elevadas	Existen y son elevadas
<b>Incentivos: Materias Primas y Compra de Biomasa</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Incentivos: Cadena de Suministro, Recolección y Transporte</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Incentivos: Compra, Instalación y/o Desarrollo de Equipamiento Tecnológico y Operación de Plantas</b>	Sí	Sí	Sí

Tabla 3 Uso ERNC países Norte de Europa

En comparación, los tres países estudiados, tienen una definición amplia y antigua, década del 2000, en el uso de incentivos al desarrollo de las ERNC. Tienen incluidas estas definiciones en su legislación, se han planteado metas claras, y para esto han definido incentivos; en la compra de materia prima, en la cadena de suministros y en la implementación tecnológica.

## 2.5 Argentina

Según la asociación forestal argentina, AfoA, a nivel mundial, datos Food and Agriculture Organization, FAO, la madera representa el 40% del suministro actual de la energía renovable, superando a la solar, eólica e hídrica. Actualmente la energía con base forestal representa sólo el 0,11% de la matriz de energía eléctrica de Argentina (AFoA, 2016).

Según Probiomasa, que es un proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa, ente que depende de los Ministerios de Agroindustria, de Energía y Minería y cuenta con el apoyo de FAO (Probiomasa, 2018), el aporte de las energías renovables al sector eléctrico es de sólo el 1,9% mientras que el de biomasa específicamente es el 0,11%.

Al igual que en Chile, la biomasa forestal es producto de podas y raleos de árboles que corresponden a trozos finos no aptos para aserradero, así como el residuo de los aserraderos y otras industrias forestales, se utiliza en algunas industrias para generar energía térmica y eléctrica.

Argentina ya cuenta con siete empresas productoras de pellets de madera de calidad internacional. Las empresas que han optado por el uso de calderas en base a pellets o astillas indican una reducción del costo de energía entre el 20% y el 35 % al reemplazar GLP o Fuel Oil. Si se utilizara el total de la capacidad instalada actualmente en la producción de pellets, se podrían generar 180 MW de origen térmico, de acuerdo con AFoA. El aporte a la generación de energía térmica en base a astillas es aún mayor (El Inversor, 2006).

## 2.6 Brasil

Una de las razones por las que Brasil desarrolló una política de ERNC fue la crisis del petróleo de los años 70'. En este sentido, es bien sabido que Brasil ha invertido en investigación y desarrollo, financiando una gran cantidad de proyectos, que han derivado en el fuerte uso del alcohol derivado de la caña de azúcar y sus aplicaciones del biodiesel, llegando a ser éste, uno de los principales mercados a nivel mundial.

Lo anterior, ha llevado a la industria automotriz a modificar las tecnologías que utilizan los vehículos del mismo país, dado que se han tenido que adaptar a un combustible con mezclas de alcohol etílico, producido mediante el proceso de fermentación de la caña de azúcar (Loaiza Navarro, 2015). La Figura 7 muestra el desarrollo de la matriz energética de Brasil para el año 2012 donde se puede apreciar la significativa presencia de la caña de azúcar y sus derivados.

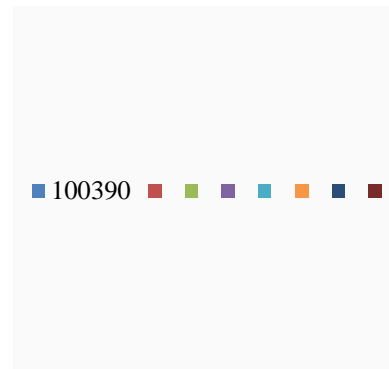


Figura 7 Matriz energética de Brasil al 2012 (Loaiza Navarro, 2015)

Algunas de las características y desarrollo del uso de la biomasa forestal, de Brasil son:

- ) En los últimos años Brasil ha promulgado reformas en su política energética, la principal, enfocada al impulso de los biocombustibles, en particular, al etanol donde en un principio cedió herramientas destinadas a crear oportunidades para enfrentar las barreras de entrada.
- ) Hoy en día tiene por enfoque lograr la competencia del combustible apostando también a que los mercados internacionales se abran a la utilización de los biocombustibles como en Estados Unidos con el proyecto “15 para el 15” donde se quiere que el 15% del combustible provenga de los biocombustibles para el año 2015 donde Brasil sería uno de los grandes beneficiados.

## 2.7 Comparativo Países Sudamericanos

La Tabla 4 presenta un resumen comparativo, de los países sudamericanos, analizados en el acápite anterior, respecto del uso e incentivo de las ERNC.

	Brasil	Argentina	Chile
<b>Definición de % de Biomasa ERNC</b>	Hasta esta década se buscaba el 15% de las ERNC en la matriz energética	Las energías renovables al sector eléctrico son de sólo el 1,9% mientras que el de biomasa específicamente es el 0,11%	17% de ERNC al 2017
<b>Legislación Propia y Políticas publicas</b>	Una política energética, centrada en principio en Biogás, etanol.	Se está comenzando la discusión y se han promulgado las primeras políticas nacionales.	Política energética al 2050
<b>Subvenciones</b>	Si, en la mayoría de la cadena de producción.	Si, a través de subsidios, pero concentrado en la compra de maquinarias y tecnología.	Si, a través de instrumentos de fomento, en las distintas etapas de la cadena de producción.
<b>Multas</b>	Medianamente desarrolladas.	Poco desarrolladas.	En el SEIA y normas ambientales.

Tabla 4 Resumen comparativo de ERNC en Sudamérica



Chile se encuentra a la cabeza del listado de países líderes en el desarrollo de energías sustentables en Sudamérica del Banco Mundial, según informe publicado por esta entidad. El Regulatory Indicator for Sustainable Energy, RISE, otorgó a Chile una puntuación global promedio de 76 sobre 100, ubicándolo “en el primer lugar de Sudamérica, segundo de Latinoamérica, después de México, y 29 en el mundo”, señaló el estudio (Tritec-intervento, 2016).

La investigación contempló más de 3.000 políticas energéticas con las cuales evalúa a 111 países de todos los continentes, realizando una calificación de políticas en aspectos como acceso a la energía, eficiencia energética y la proveniente de fuentes renovables.

En la Banco Mundial, categoriza a Chile, en mejor posición que la mayoría de los países de Sudamérica, en especial de Brasil y Argentina, sin embargo, en la categoría de incentivos y subvenciones, sobre todo lo relacionado con la defensa de los consumidores, aun la calificación es baja. Solo México en Sudamérica está haciendo una apuesta similar a Chile, en el tema energético.

### 3. La Biomasa en Chile

La Figura 8 presenta la utilización de la biomasa en Chile, según el Ministerio de Energía, en su diagnóstico realizado el año 2015, es de aproximadamente el 24%, esto incluye el uso de la leña como fuente de calefacción.

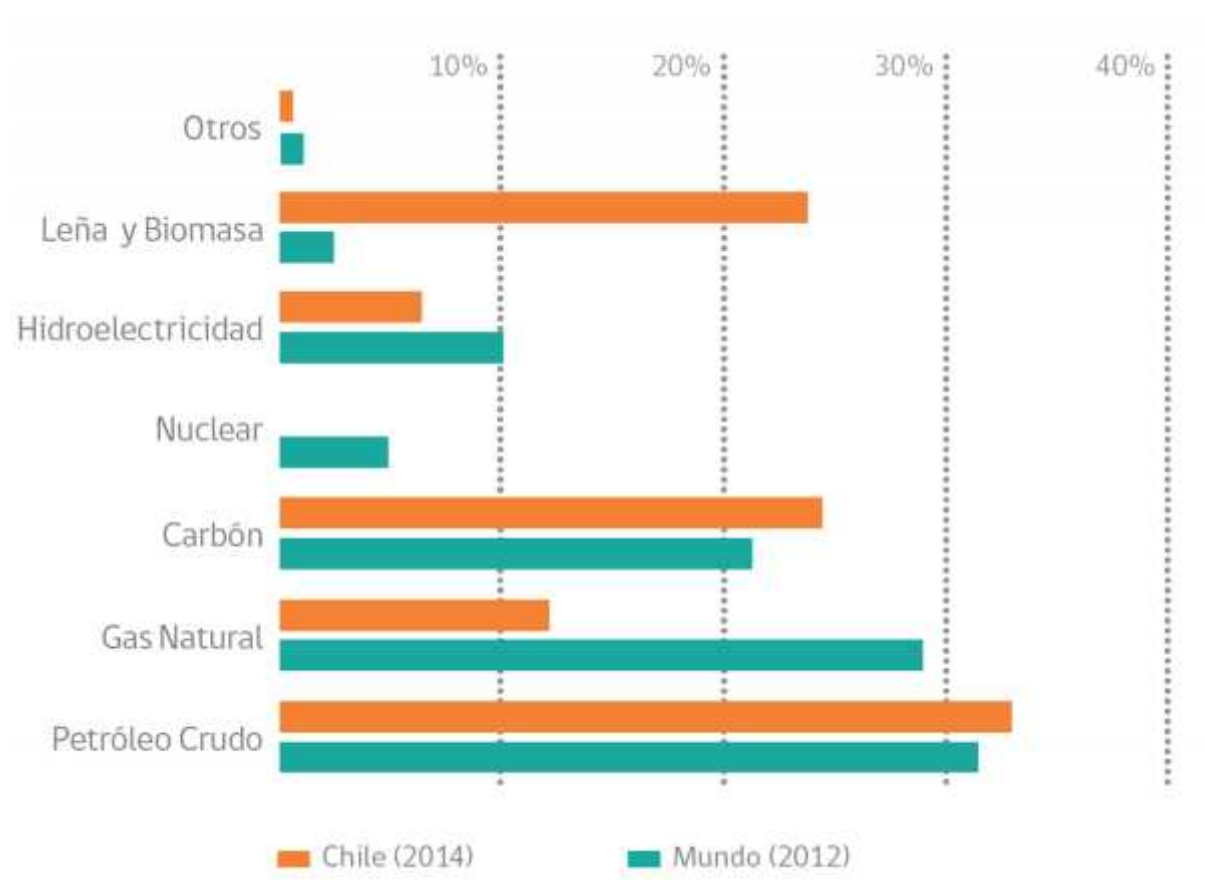


Figura 8 Matriz energética primaria en Chile (Comisión Nacional de Energía, 2016)

La Matriz Energética Primaria de nuestro país está dominada por diésel, carbón y gas; la hidroelectricidad es solo el 6%. Pero, si uno hace un análisis más detallado, la tercera fuente más relevante en la en la matriz, es la leña y la biomasa, siendo la primera fuente en ERNC, muy sobre el promedio mundial.

El carbón, el gas natural y el petróleo crudo, son mayoritariamente importados, son altamente contaminantes en efectos de gases de invernadero y son más costosos. En cambio, la leña y la biomasa son un recurso renovable, que fomenta la producción local, con el consiguiente aumento de la empleabilidad en los territorios, es un biocombustible más económico y menos contaminante.

### 3.1 Uso de la Biomasa para Energía Eléctrica

En nuestro país, el uso de la biomasa como fuente de producción de energía eléctrica, se concentra principalmente, asociada a la gran empresa forestal y maderera. Como se vio en los acápites anteriores, principalmente relacionado, con el uso de material de desechos y residuos del proceso productivo.

A continuación, en base a los datos del coordinador nacional eléctrico, en base al consumo total de energía de nuestro país, se presenta un somero análisis, del aporte de la biomasa a la generación de energía eléctrica.

La Figura 9 refleja la participación de la biomasa, en la generación eléctrica bruta a nivel nacional, para el año 2016, que alcanzó el 4%, aproximadamente casi los 3.000 KWh en el país.

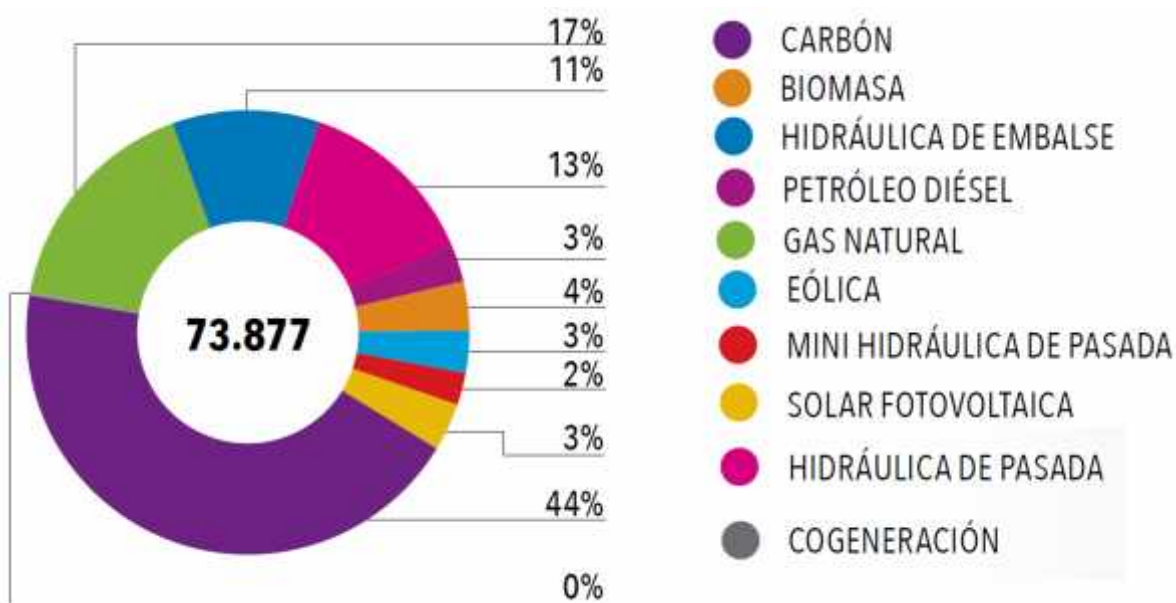


Figura 9 Total Nacional de generación eléctrica (Coordinador Eléctrico Nacional, 2017)

Desde el año 2012, el aumento de las ERNC en la matriz energética ha sido exponencial, desde un 27% de participación a un 52% de participación en el 2016.

En este sentido, en la Figura 10 se puede apreciar, que el aporte de la biomasa se ha mantenido constante en los últimos años, y que el aumento, exponencial ha sido en gran parte por las energías eólicas y solares, en desmedro de la hídrica. Además, se puede apreciar que de un total aproximado de 7.800 MWh, que aportan las ERNC, la biomasa aporta el 20% de esa energía al sistema, y ha pasado de un aumento del 2010 que no superaba el 16%.

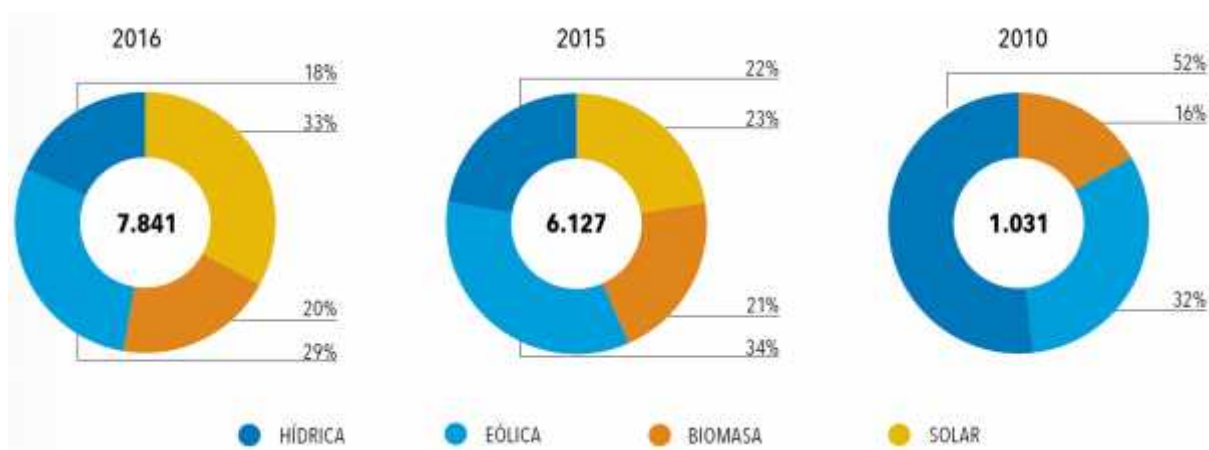


Figura 10 Aporte de la biomasa al total Nacional ERNC (Comisión Nacional de Energía, 2017)

Uno de los temas relevantes, en la generación de electricidad, son los precios de las energías, en este sentido, la Figura 11 se muestra la evolución de los precios por la energía ofertados en las licitaciones, desde el 2006 al 2016, en el cual se evidencia la baja sostenida del precio medio ofertado nominal, desde el año 2012 a la fecha, que coincide con el aumento de la producción de las ERNC. Sin lugar a duda, uno de los temas relevantes es la tendencia a la baja en los precios de la electricidad por energía solar y eólica más eficiente y conexión entre SING y SIC.



Figura 11 Evolución precio nominal energía eléctrica (Coordinador Eléctrico Nacional, 2017)

Uno de los temas relevantes, para la producción de biomasa para la generación eléctrica, es su falta de competitividad en estos momentos, para con las otras ERNC. En este sentido, es un difícil escenario para la biomasa, sobre todo, si no se reconocen las externalidades positivas y se generan incentivos para su uso y mejoras competitivas.

### 3.2 Uso de la Biomasa para Energía Térmica

En el estudio de caracterización del mercado de biomasa como fuente de energía térmica entre las regiones de O'Higgins y Aysén elaborado por el Centro de Innovación y Fomento de Energías Renovables, CIFES, encargado por el Ministerio de Energía en el 2016, se estimó que la participación de la biomasa para la generación de energía térmica para instituciones del estado, de servicios de salud y la industria, en potencias entre 100 kWh y 1 MWh, es de aproximadamente un 35%, versus el 65% de uso de combustibles fósiles como se puede apreciar en la Figura 12. Esto da a entender una alta participación de la biomasa como fuente de energía térmica, en este sector específico de demanda energética (CIFES, 2016).

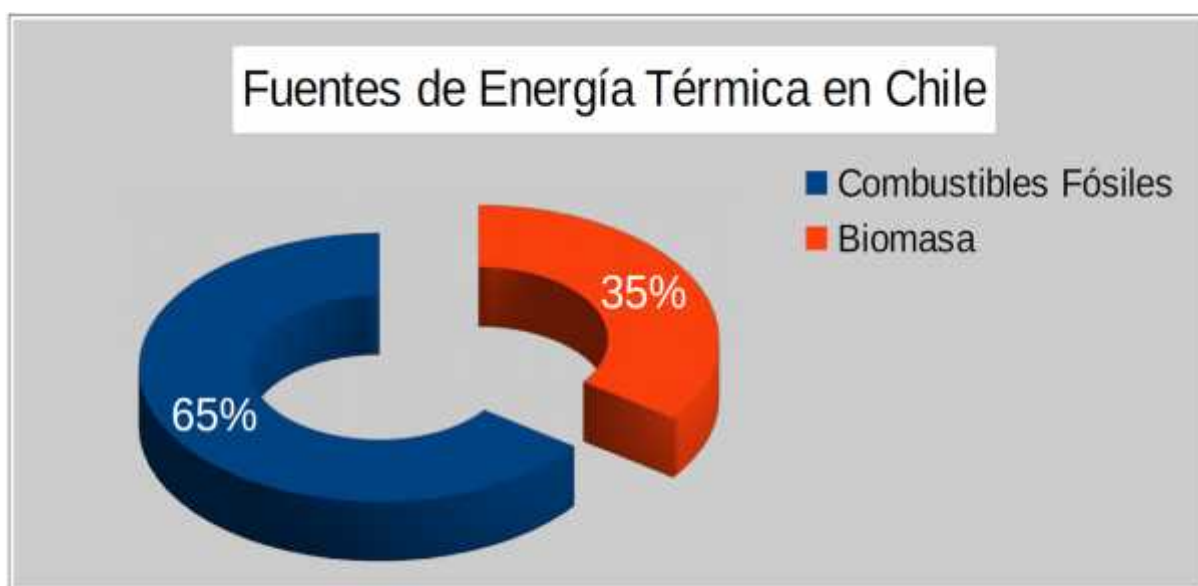


Figura 12 Uso de la biomasa como fuente de energía térmica en Chile (CIFES, 2016)

#### 3.2.1 Ejemplos de Usos de la Biomasa para Generación Térmica en Chile

En un seminario realizado en la Universidad Austral de Chile, UACH, en el marco del proyecto, la Asociación Chilena de Biomasa, AChBiom, realizó una presentación de cuatro casos de estudio, en los

cuales, se ha utilizado la biomasa para la generación de energía térmica (AChBiom, 2018). A continuación, la Tabla 5 presenta un resumen de estas iniciativas (IBOS-FCI, 2017).

	<b>Hotel Patagónico</b>	<b>Hotel Dreams</b>	<b>Hotel Enjoy</b>	<b>Hospital Castro</b>
<b>Ubicación</b>	Puerto Varas	Puerto Varas	Chiloé	Castro - Chiloé
<b>Inversión estimada</b>	\$58 millones	\$65 millones	\$85 millones	\$85 millones
<b>Biocombustibles</b>	Pellet de Madera Astillas	Pellet de Madera Astillas	Pellet de Madera Astillas	Astillas Secas
<b>Combustibles Reemplazados</b>	Diésel	Diésel	Diésel	Diésel - Gas
<b>PRI</b>	22 meses	14 meses	15 meses	S/I
<b>Modelo de Negocio</b>	Inversión Propia	Inversión Propia	Inversión Propia	ESCO
<b>Desempeño</b>	Exitoso	Exitoso	Exitoso	Exitoso
<b>Fortalezas</b>	Automatización. Reducción de Costos Operacionales.	Automatización. Reducción de costos Operacionales. Reducción emisiones.	Automatización. Reducción de Costos Operacionales. Reducción emisiones.	Automatización. Reducción de Costos Operacionales. Reducción emisiones.
<b>Oportunidades</b>	Buscar Biocombustibles con alto impacto económico.			

Tabla 5 Uso de biomasa para generación térmica en Chile (AChBiom, 2018)

En la mayoría de los casos presentados por AChBiom, se demuestra que el reemplazo de una caldera que antes funcionaba con un combustible fósil, como el petróleo, o el gas, ha tenido beneficios, económicos y ambientales. En tres de los casos estudiados, el periodo de retorno es bajo, no superior a los 22 meses, y en uno de ellos, se utiliza un nuevo modelo de negocio, en base a la compra de energía, Energy Service Company, ESCO. Además, una de las fortalezas importantes de los proyectos son la automatización de los sistemas, la reducción de costos y la reducción de emisiones.

## 4. La Producción de Biomasa Forestal como Combustible

El principal problema que presenta la utilización de biomasa como combustible para la generación de energía eléctrica, está relacionado con la logística de su producción, adquisición, transporte y manejo, entre otras variables. El desglose de costos más relevantes de la biomasa como combustible se puede diferenciar en cuatro grupos:

- ) Costos asociados a la logística de recolección/manipulación.
- ) Costos asociados al almacenamiento/pretratamiento, contenido de humedad óptimo.
- ) Costos asociados al transporte.
- ) Costos asociados a la transformación a energía eléctrica y/o térmica.

Uno de los temas relevantes, es el tamaño de la planta de producción de energía a partir de la biomasa forestal. A continuación, una aproximación a una clasificación de plantas, en función de su tamaño.

### 4.1 Plantas de Gran Tamaño

La producción de biomasa como combustible, a gran tamaño, tiene varias determinantes, que se pueden reconocer, entre ellas:

- ) La dispersión territorial de la biomasa, recolección en diferentes sitios.
- ) Bajo rendimiento de las maquinarias en el proceso de recolección.
- ) Dispersión de puntos de recolección. Las distancias a las plantas de cogeneración por biomasa cambian constantemente.
- ) Diversidad de las propiedades físico-mecánicas de la biomasa. Por un lado, va a producir un tipo de biomasa y además requerirá un tipo de maquinaria para su producción.
- ) Variaciones en la calidad de la biomasa. Esta, se deteriora rápidamente durante el almacenamiento.

Las plantas de mayor tamaño, generación mayor a 50 MWh (Fenercom, 2010) utilizan calderas que les permiten utilizar una gran variedad de combustibles, carbón y biomasa. Cabe mencionar, que la

implementación del uso de biomasa en estas plantas, donde exista disponibilidad, se presentaran ventajas como la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En Finlandia, la experiencia demostró que estas variables se podían controlar de mejor manera cuando existe una integración en la producción de astillas con el resto de las actividades y procesos en la cadena de producción forestal. Ideal es realizar el proceso de astillado, en la propia planta de cogeneración.

La evolución de las plantas de gran tamaño ha sido enorme, en los últimos años, en el caso de la central eléctrica de Herning, en Dinamarca, ésta ha experimentado varios cambios desde su construcción en 1982. Originalmente fue una planta de carbón, luego se reconvirtió a una planta de gas natural, y desde 2002 se alimentaba principalmente con biomasa.

Desde 2009 su producción es 100% neutra de emisiones de CO<sub>2</sub>. La planta consume al año aproximadamente 300.000 ton de astillas de madera y 70.000 ton de pellets de madera. Recientemente acaban de renovar los contratos de suministro con varias empresas energéticas hasta 2033, lo que permitirá mejorar la eficiencia con una nueva instalación de condensación de gases de combustión durante este año con el fin de reducir el consumo de biomasa un 20% para lograr la misma energía (Expo Biomasa, 2017).

#### **4.2 Plantas de Mediano Tamaño**

En estas plantas, de mayor tamaño, generación mayor a 1 MW y menor a 50 MW (Fenercom, 2010), por regla general, tienen un mayor rango de tipos de combustibles para su uso como biomasa forestal. En este sentido, no sólo de astillas de madera, sino que también se pueden incluir los residuos forestales, la corteza, los tocones, en algunos casos incluso mezclados con turba, aserrín y pellets.

Estas plantas de mediano tamaño han cobrado gran importancia en países escandinavos, bajo la figura de cooperativas. Cabe mencionar, que en Dinamarca dos tercios de la producción forestal se destina a la generación eléctrica.

Existen distintos tipos de procedimientos, para el manejo de los recursos forestales destinados a biomasa, para este tipo de plantas, requieren del tratamiento de la biomasa, en forma de chips o astillas. En este sentido, existen diversos tipos de procesamiento de la astilla:

- ) Astillado en terreno o directamente en el bosque.
- ) Astillado en bosque y transporte, integración.
- ) Astillado y transporte por separado.



J Astillado en planta final o depósito intermedio.

#### **4.3 Plantas de Pequeño Tamaño**

Por regla general, mientras menor es el tamaño de la planta de cogeneración en base a biomasa forestal, mayor debe ser la calidad del desecho y/o materia prima.

En Europa, en especial en los países nórdicos, estas plantas son utilizadas para calefacción distrital, ya sea de hogares escuelas, pequeñas industrias y municipios.

En Finlandia existe una metodología de aseguramiento de la compra y abastecimiento, entre los agricultores y/o productores locales de madera para biomasa, con el municipio local. En estos casos, es común que el municipio local sea quien se encargue de la compra de la biomasa, en forma de astillas comúnmente, la operación y el mantenimiento de las plantas de cogeneración. Además, esta compra se realiza en función del contenido energético de la biomasa forestal. La potencia instalada en estas plantas no es superior a 1 MW (Fenercom, 2010).

## 5. Alternativas de Disponibilidad de Biomasa Forestal para Proyectos

En nuestra región existe un amplio potencial para el uso de la biomasa forestal para la producción de energía. Esto principalmente por el uso de suelos, que es principalmente relacionado al recurso forestal.

La Figura 13 muestra que la región de Los Ríos dispone de una superficie total regional de aproximadamente 1.834.965 ha, de las cuales, catalogadas, según el INFOR, como recurso forestal, existen aproximadamente 1.095.414 ha, de las cuales son de Bosque Nativo, BN, aproximadamente 908.531 ha y de Plantaciones, aproximadamente 186.883 ha (INFOR, 2017).

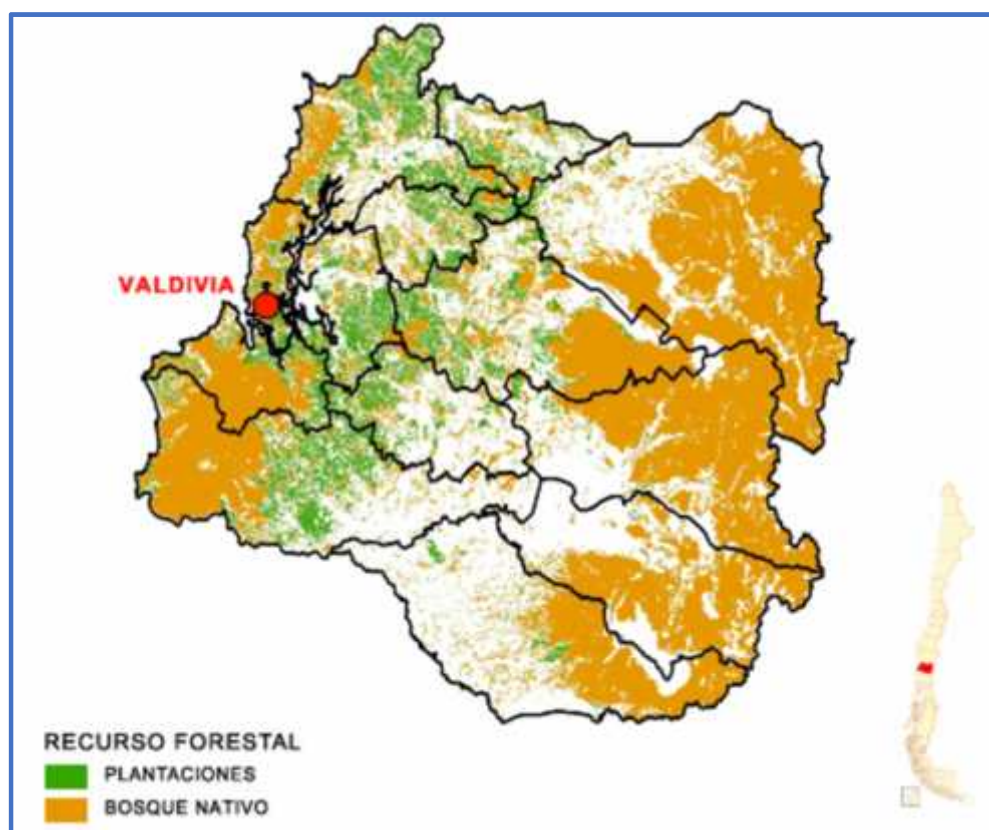


Figura 13 Superficie total y recurso forestal en la región de Los Ríos (INFOR, 2017)

Existen varias alternativas para este aprovechamiento. Estas dependen del tipo de biomasa y su disponibilidad. A continuación, una propuesta de análisis de alternativas, en función de tres categorías de disponibilidad de materia prima o biomasa forestal en base a:

- ) La utilización y manejo sustentable del BN.
- ) Generación de biomasa de plantaciones.
- ) El aprovechamiento de los desechos y residuos de la industria primaria forestal.

### 5.1 Bosque Nativo

Existe un gran potencial de manejo sustentable del BN, para el aprovechamiento en cuanto a la producción de biomasa forestal para la generación de energía. Principalmente por el alto porcentaje de superficie que existe en la región, alrededor de 50%.

El manejo sustentable tiene externalidades positivas para el desarrollo del sector forestal. Desde el punto de vista económico, social y ambiental. Entre ellas, la más relevante es que se trata de un recurso renovable y sostenible.

Algunos aspectos por considerar en esta alternativa:

- ) El manejo sustentable permite un uso renovable del recurso.
- ) Existen programas de manejo orientados a la producción de biomasa para energía que permiten rotaciones más cortas y económicamente viables.
- ) Hoy en día, el BN, sufre como principal uso no sustentable, “el floreo” para obtención de leña para combustible en hogares.
- ) En base a un trabajo con las comunidades y pequeños propietarios de BN se podría generar una oportunidad de negocio sustentable para el sector.
- ) El aspecto más difícil de implementar es la logística de producción entre los productores, intermediarios y consumidores del recurso, de manera de lograr un uso eficiente y sustentable del recurso.
- ) En Chile, no se han involucrado de manera eficiente y eficaz, los gobiernos locales en la incorporación de tecnología de bajo impacto en la calefacción distrital, con uso de especies nativas de uso dendroenergético, a diferencia de países más desarrollados, en específico del norte de Europa.
- ) Existe una oportunidad para el sector privado de inversión en negocios de baja escala, en calefacción distrital, pero la falta de legislación, incentivos y proyectos piloto respecto de este tipo de energía, han hecho poco atractiva la generación de proyectos.

- J) Un modelo para seguir es el de la creación de cooperativas de producción de biomasa forestal para la producción de energía. Para regular la oferta y disponibilidad de biomasa forestal, para nuevos proyectos, que es una de las principales debilidades del negocio en el presente.

## 5.2 Plantaciones con Biomasa Residual<sup>1</sup>

La recuperación de suelos degradados y el uso ganadero y/o agrícola en la región de los Ríos, es una alternativa para reforestar y rentabilizar terrenos de una manera estable. Una de las alternativas son las plantaciones con fines dendroenergéticos, donde la biomasa forestal se destina a energía.

Las especies forestales de este tipo se caracterizan por poseer una elevada tasa de crecimiento, de autogeneración, a partir de tocón y un alto poder calorífico como son la acacia y el *Eucalyptus sp.* entre otros.

La superficie detectada con plantaciones forestales exóticas alcanza los 210 millones ha, sin embargo, aplicando ciertas restricciones, como las zonas de protección a las líneas de transmisión eléctrica o cursos de agua, disminuiría a unas 169.065 ha en la región de Los Ríos.

Según estadísticas de CONAF, entre 2007 y 2016, se estima una cosecha promedio de 5.920 ha/año, de las cuales, sólo el 16,5% estaría en manos de pequeños propietarios, con una cifra de 977 ha/año (CONAF, 2017). En este periodo dominaron las reforestaciones de plantaciones de *Pinus Radiata*, PR, con 3.011 ha/año que equivale a un 50,86% seguidas de 2.646 ha/año de la especie *Eucalyptus sp.*, equivalente a 44,71%. Sin embargo, los últimos años muestran un cambio en la especie reforestada, dominada el año 2016 por *Eucalyptus sp* con un 58,97% y seguida por PR con un 37,20%.

La Figura 14 representa con gráfico de anillos el porcentaje de reforestación por especies en la región de los Ríos, el anillo exterior representa el porcentaje en el período 2007-2016 y el anillo interior, representa los porcentajes de reforestación por especies para el año 2016. Estas plantaciones se destinan, en su mayoría a dos grandes industrias; la producción de celulosa y de madera aserrada. La información esta correlacionada con cosecha final y generación de desechos.

---

<sup>1</sup> Biomasa residual incluye los residuos de cosecha, poda y/o raleo silvícola.



Figura 14 Reforestación por especies región de Los Ríos (CONAF, 2017)

En la región de Los Ríos, de la tasa promedio de cosecha para el periodo 2007-2016, la mayor parte se concentró en la Provincia de Valdivia con un 79% y el restante 21% en la Provincia del Ranco.

Las comunas de La Unión y Mariquina son las que muestran una mayor tasa de cosecha como se puede apreciar en la Figura 15. Ahora bien, si desagregamos la superficie de plantaciones exóticas de acuerdo con su distribución geográfica según el monitoreo del 2017, podemos apreciar que las comunas de la Unión, Mariquina, Los Lagos y Valdivia son aquellas donde principalmente se encuentran plantaciones exóticas durante el año 2017. De acuerdo con la Figura 16, que representa la importancia relativa de la superficie de plantaciones exóticas, en la comuna de La Unión se encuentra el 19% de la superficie de las plantaciones, le sigue la comuna de San José de la Mariquina con 17,8% de la superficie y Los Lagos con 14,4%.



Figura 15 Reforestación plantaciones región de Los Ríos promedio (Forestal, 2018)

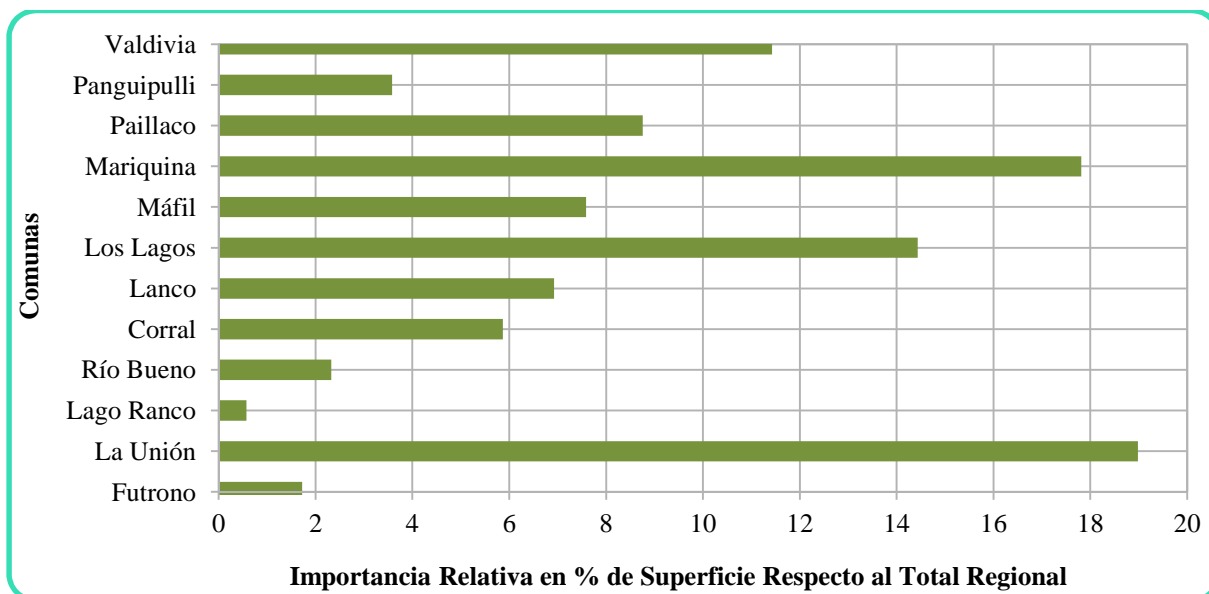


Figura 16 Superficie de plantaciones exóticas por comuna región de Los Ríos (Forestal, 2018)

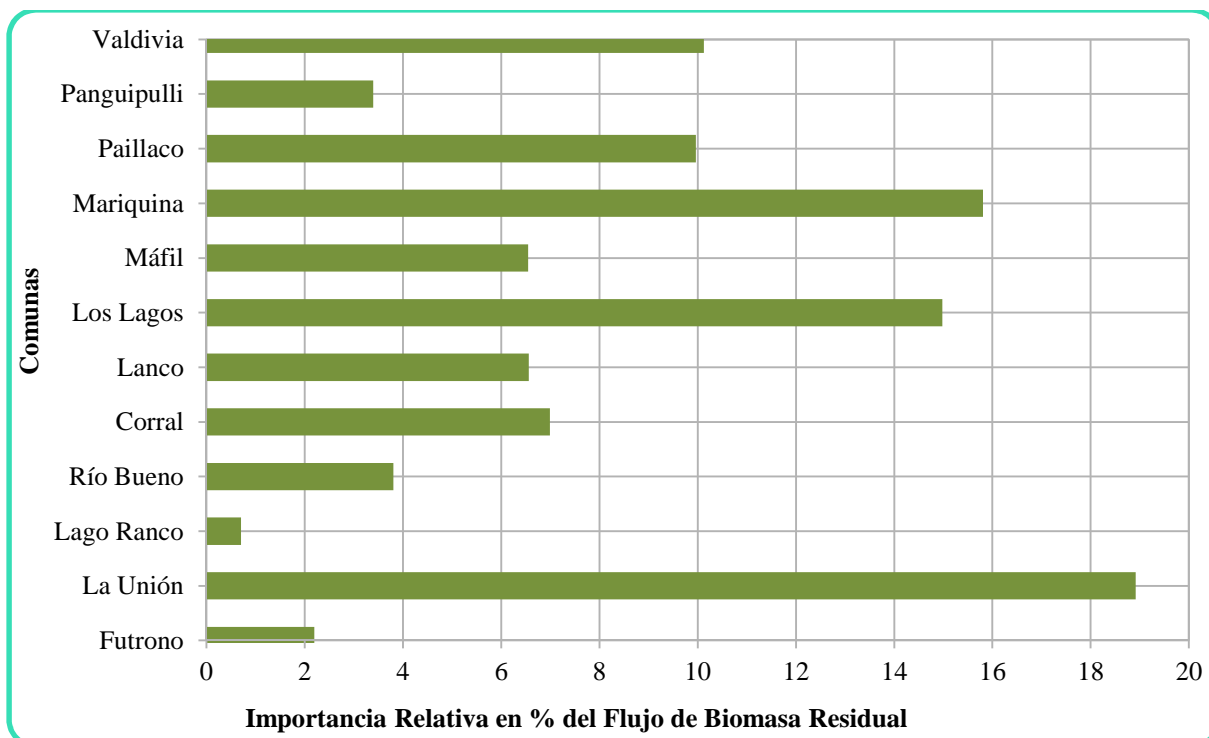


Figura 17 Flujo de biomasa residual en plantaciones exóticas por comuna (Forestal, 2018)

Lo anterior permite estimar que la generación actual de residuos de cosecha del segmento plantaciones alcanza a 202.283 TS/año, de las cuales 33.377 TS/año corresponderían al segmento de propietarios No Empresas Forestales, NEF. Residuos que probablemente seguirán la distribución espacial que muestran las reforestaciones. Según las bases de datos procesadas en el laboratorio, se registra que las Grandes Empresas Forestales poseen un patrimonio de 97.947 ha y el segmento de Pyme registra una cantidad de 33.995 ha, además el monitoreo del 2017 ha detectado una superficie de 37.263 ha, que al parecer no es patrimonio de ninguno de los dos segmentos empresariales mencionados anteriormente.

Una vez que se alcance la situación de régimen de las plantaciones, la tasa de cosecha alcanzaría unas 4.300 ha/año de *PR* y otras 7.500 ha/año de *Eucalyptus sp.*, lo cual duplicará la oferta de residuos. Según cifras del monitoreo, las 92.436 ha de *PR*, puestas en régimen, cada 5 años, se alcanzaría una superficie de 18.487 ha.

La gran industria forestal de la región de Los Ríos, principalmente la Empresa Arauco, posee la mayor parte de estas plantaciones. En su planta industrial de celulosa, esta empresa produce energía eléctrica, a partir de la transformación de lignina, hemicelulosa y otros a licor negro, el cual es quemado. Esta energía es ocupada como autoconsumo y el residual ingresado al SIC.

La cosecha de plantaciones genera grandes volúmenes de desechos, que en el caso de las grandes empresas forestales se utilizan habitualmente para la generación de energía térmica y eléctrica. Hay que destacar que, en el caso de esta región, esta utilización es parcial y que los propietarios NEF están al margen. Esto significa que existe un potencial no utilizado. Para una cosecha de aproximadamente 4.500 ha/año habría una disponibilidad de desechos de 150.000 TS/año a 200.000 TS/año.

Es importante señalar que las nuevas plantaciones con propósitos dendroenergéticos de álamos, aromos, acacias y *Eucalyptus sp.* que se han implementado en nuestro país, son distintas a las plantaciones forestales tradicionales. Esto porque su fin no es producir celulosa ni madera y sus derivados, sino su principal uso es la biomasa, es decir, transformarse en materia prima para producir bioenergía orientada al consumo industrial o doméstico.

El objetivo de una plantación forestal que tiene como fin la producción de biomasa es el de ofrecer una masa boscosa y producto más homogéneo respecto de la que se comercializa en la actualidad y por, sobre todo, con un abastecimiento más seguro, para plantas que las usan como materia prima para la producción de energía.

Los países que han apostado por las plantaciones dendroenergéticas lo han realizado pensando en una alternativa más dentro del negocio forestal, en especial para terrenos marginales que están sin uso. Su objetivo, en el corto plazo, no debería ser el competir con los suelos ganaderos ni superficies agrícolas.

Existen una serie de diferencias entre las plantaciones dendroenergéticas y las tradicionales (LIGNUM, 2014):

- ) En el establecimiento de una plantación dendroenergética se requiere más inversión y su manejo silvícola es totalmente distinto y mucho más intensivo y dedicado. Se plantan hasta 10.000 árboles/ha y no 1.500 como en las plantaciones tradicionales.
- ) En lugar de *PR* y *Eucalyptus sp* se usan especies de rápido crecimiento, alta generación de biomasa y con rotaciones cortas a tala rasa, de no más de cuatro o seis años en promedio.
- ) Las especies más utilizadas, son todas introducidas, del género *Pópulos sp* como el álamo, sauces, aromos, la *Acacia melanoxylon* y los *Eucalyptus nitens*, *globulus* y *camaldulensis*.
- ) Para que el negocio sea rentable la idea es que los propietarios puedan obtener beneficios económicos mediante la cosecha o extracción de biomasa en ciclos cortos inferiores a los cinco años, y que se repitan en el tiempo sin tener que volver a invertir en replantar ya que los arboles brotan solos.
- ) Se utilizan plantas genéticamente mejoradas y de alta calidad, las cuales tienen un mayor costo, de al menos 10 veces más que una de *PR* o *Eucalyptus sp* tradicional.



- ) La silvicultura también es intensiva e incluye control de la competencia en los primeros años, fertilización y, eventualmente, riego.
- ) Los árboles también demandan mucha más cantidad de agua que las plantaciones tradicionales, pero la idea es no regarlas. De ahí, la importancia de saber qué especie plantar, con cuánta densidad y dónde para obtener el máximo rendimiento sin incurrir en mayores gastos. En general, la principal idea de estas plantaciones es que estos árboles crezcan sin riego, como las plantaciones tradicionales, en un suelo marginal. Si existe un buen suelo y mucha disponibilidad de agua, es más conveniente dedicar el suelo a cultivos agrícolas y asegurar un negocio más rentable.
- ) Los costos de la cosecha son más baratos que en las plantaciones tradicionales. Esto, porque se usan cosechadoras de raíz, que cortan abajo y astillan enseguida la madera para cargarla de inmediato en el camión y llevarla a la planta de procesamiento, todo mecanizado y en un solo paso.
- ) Los costos de transporte, flete, también son importantes, ya que el negocio es el cultivo, y para que sea rentable las plantaciones deben estar cerca de las plantas de procesamiento para no aumentar los costos.

Desde el punto de vista económico, para que una plantación dendroenergética tenga indicadores positivos, se debe trabajar con detalle los costos de plantación, de mantenimiento en los primeros años y de transporte. La corta edad de rotación es la clave del éxito financiero de estas plantaciones, pero el costo de establecimiento es mayor y los requerimientos de calidad de suelo también.

La demanda de ENRC en aumento, hace de las plantaciones dendroenergéticas una opción atractiva para desarrollar negocios en la matriz energética de nuestra región. La oferta y disponibilidad de biomasa, que nuestra región podría ofrecer es interesante y merece un estudio en detalle.

El estado de Chile está modificando su política energética, hacia las exenciones tributarias y los subsidios en la industria de la cogeneración eléctrica, similar a los países desarrollados. Esto abre una serie de oportunidades para la región de Los Ríos.

El desafío es identificar en nuestra región las áreas de mejores rendimientos según especie y la zona, para definir áreas de plantación y modelos de manejo de plantaciones dendroenergéticas. No olvidando que éste es aún, un negocio incipiente y que depende del valor de la energía, que es exógeno al negocio forestal.

### 5.3 Desechos y Residuos de la Industria de la Industria Primaria Forestal

El aprovechamiento de residuos forestales de los aserraderos, luego del procesamiento de la madera es una de las alternativas relevantes, en nuestra región de Los Ríos, para la producción de energía.

Las grandes empresas forestales aprovechan sus desechos y residuos forestales para procesos de secado y cogeneración. Las pequeñas y medianas empresas forestales, sobre todo las relacionadas con la industria del aserrío no utilizan este recurso en beneficio propio, ya que venden sus desechos, o los regalan.

El catastro de aserraderos en Chile, realizado por el INFOR, señala que, en la región de Los Ríos, existen aproximadamente 140 industrias primarias forestales, en las cuales se contemplan aserraderos móviles y permanentes, plantas de astillado, empresas de tableros y chapas, industrias de polines, postes, pulpa y papel. El Anexo 2 – Catastro de Aserraderos en la Región de Los Ríos presenta en detalle esta información.

La distribución territorial de estos aserraderos, en la región de Los Ríos, se concentra en la ciudad de Valdivia, seguido de las ciudades que están más cerca de la carretera longitudinal, ya sea Lanco, Mariquina, Los Lagos, Paillaco, Río Bueno y La Unión. Las comunas lacustres de Panguipulli, Futrono y Lago Ranco, en menor medida concentran el resto de la industria del aserrío en la región como se puede apreciar en la Figura 18.

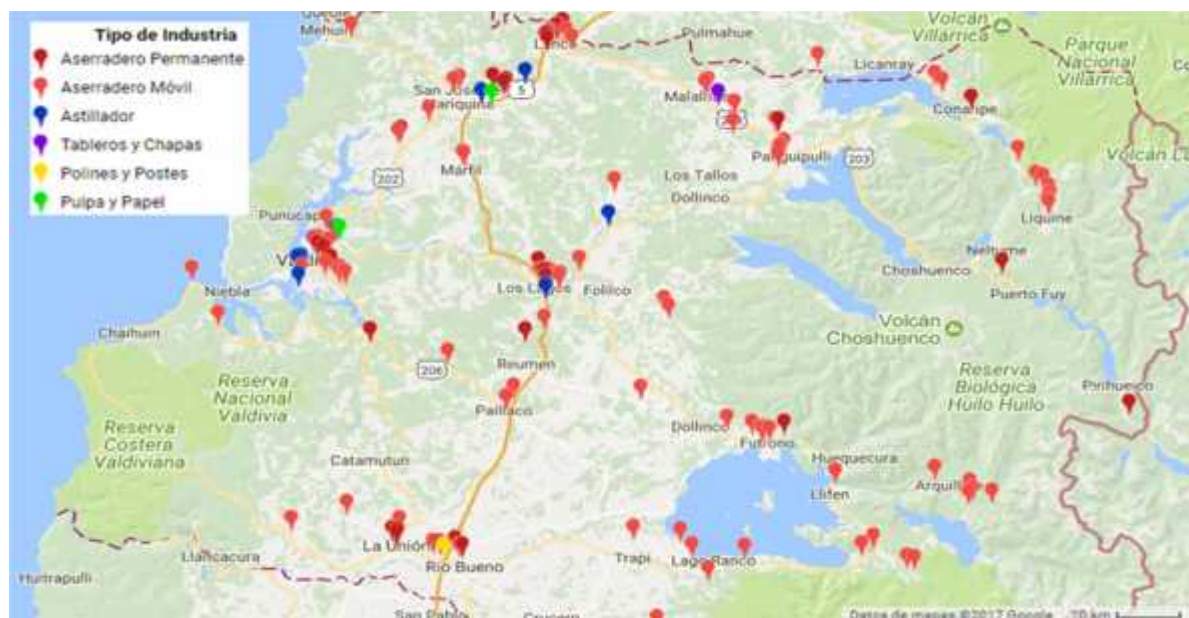


Figura 18 Ubicación y distribución de la industria regional del aserrío (INFOR, 2017)

En base a la información del catastro de la industria primaria y secundaria de la madera, elaborado por el INFOR, se puede apreciar que, en la región de los Ríos, la principal especie forestal utilizada en los 130 aserraderos catastrados es el *PR* con un 35%, Pino Oregón con un 15% y Raulí con un 5%, como se puede apreciar en la Figura 19.

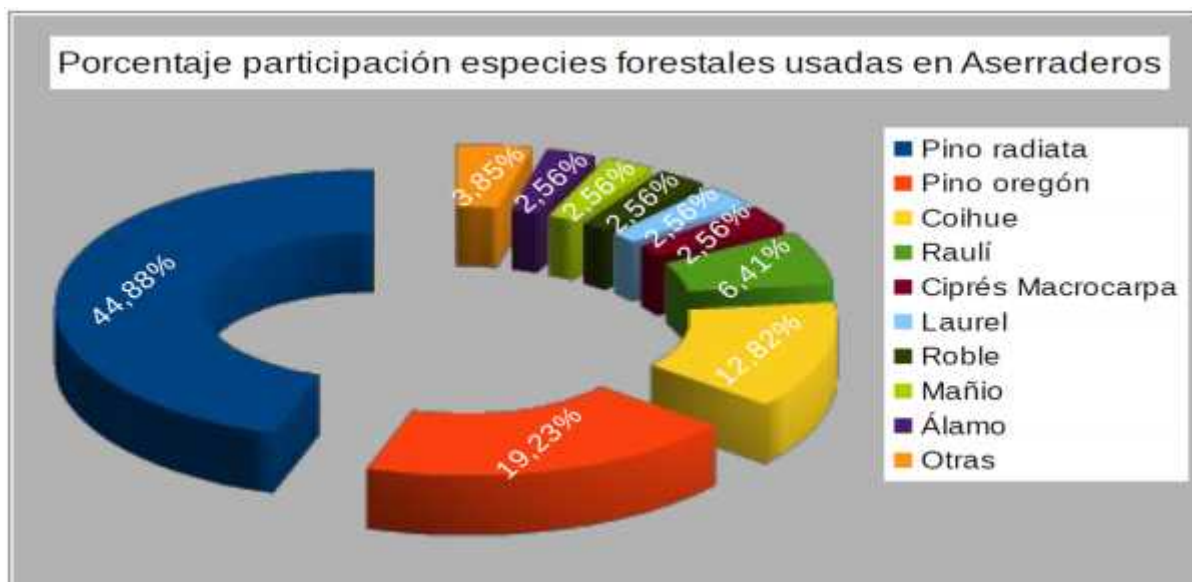


Figura 19 Especies utilizadas en aserraderos de la región de Los Ríos (INFOR, 2017)

En el catastro realizado por el INFOR de la industria forestal, de la región de Los Ríos, se realiza una consulta, respecto de los residuos o desechos forestales producidos en los aserraderos. En el caso regional, de los 130 aserraderos identificados, en 68 de ellos se reconoce que la producción de residuos es menor a 500 m<sup>3</sup> sólidos al año. A partir de estos datos, se puede inferir que la producción máxima de residuos o desechos forestales, producidos por la Pyme del aserrío, se estima en 35.000 ton/año (INFOR, 2017). En la Figura 20 se puede apreciar la distribución de las 140 empresas presentes en la región de Los Ríos.

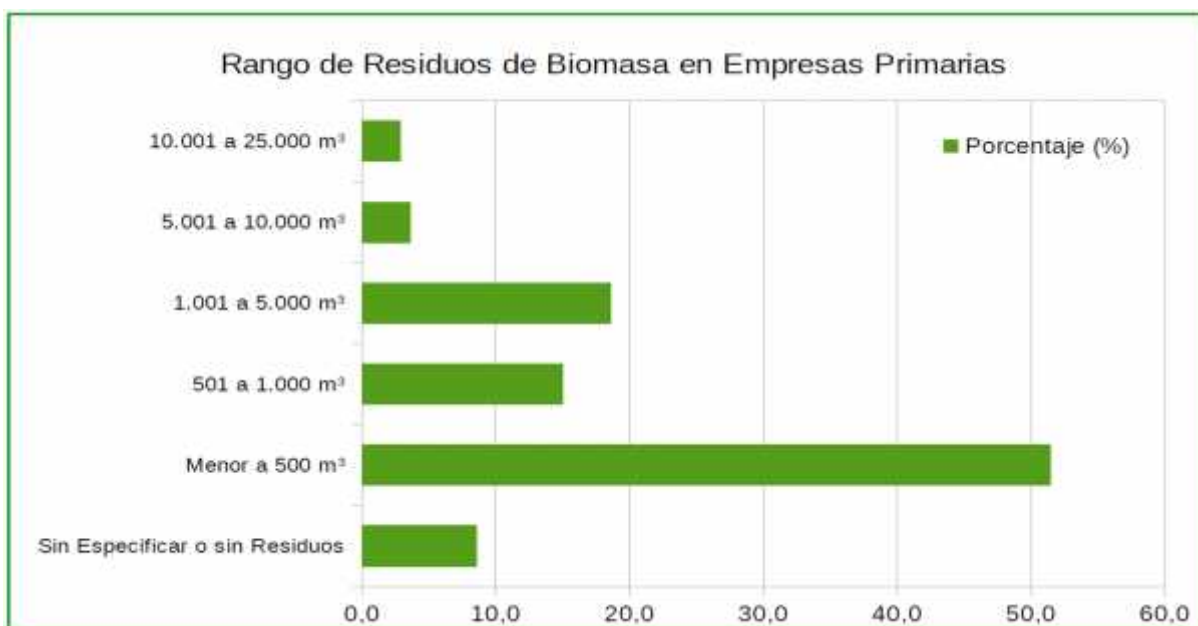


Figura 20 Producción residuos/desechos forestales aserraderos región de Los Ríos (INFOR, 2017)

En total, se estima, como información preliminar, que la región presenta un flujo potencial de biomasa forestal, a partir de los residuos y desechos de la industria primaria, de 267.300 TS/año como se puede apreciar en la Tabla 6<sup>2</sup>. A partir de la información de la producción de residuos y desechos forestales, de los 130 aserraderos catastrados por el INFOR en 2016, en la región de Los Ríos, se procedió a la estimación de la disponibilidad potencial de biomasa de residuos y desechos.

La estimación señala un total de 267.300 TS/año para la región de Los Ríos. En este sentido, si se considera que, existe un gran aserradero, de Arauco con 142.500 TS/año, en la comuna de Mariquina, y que ocupa sus residuos y desechos para cogeneración, descontado ese volumen, en la región existiría un volumen de biomasa potencial de 124.830 TS/año.

- ) Pymes, un total de 124.830 TS/año.
- ) Gran empresa, Arauco, un total de 142.500 TS/año.
- ) Total, aserraderos región de Los Ríos, 267.300 TS/año.

<sup>2</sup> Para la transformación de metros cúbicos sólidos, a tonelada materia seca, se usó un factor de conversión de 0.57, según recomendación de expertos equipo UACH.

Cantidad de Desechos	Numero de Aserraderos	(m <sup>3</sup> /año)	Total (m <sup>3</sup> /año)	Total (TS/año)
Menor a 500 (m <sup>3</sup> )	68	500	34.000	19.380
501 a 1000 (m <sup>3</sup> )	20	1.000	20.000	11.400
1001 a 5000 (m <sup>3</sup> )	23	5.000	115.000	65.550
5001 a 10000 (m <sup>3</sup> )	5	10.000	50.000	28.500
10001 a 25000 (m <sup>3</sup> )	1	250.000	250.000	142.500
Sin Información	13	S/I	S/I	S/I
<b>Total</b>	<b>130</b>		<b>469.000</b>	<b>267.330</b>

Tabla 6 Biomasa potencial a partir de residuos/desechos industria primaria (INFOR, 2017)

En este sentido, se puede inferir, que, de las 140 empresas de aserraderos de la región, su producción promedio anual es de 1.000 TS/ año, al mirar las cifras a nivel macro, pero al analizar en detalle, sabemos que existe una concentración en seis empresas, incluido el aserradero Arauco, que concentran la producción. En la Tabla 7, se puede ver el detalle de las empresas, que están concentradas en las comunas de La Unión, Valdivia y Mariquina, concentrada su producción en residuos y desechos de *PR* por sobre los 5.000 m<sup>3</sup>/año. En el próximo capítulo del proyecto, se realizará un análisis de la ubicación de estas empresas y su influencia en las opciones de desarrollo de proyectos de generación de energía a partir de residuos y desechos de biomasa del aserrío.

Nombre Aserradero	Ubicación	Especie
Hales y Becker	Mariquina	PR
Hugo Llanquaman	Mariquina	PR y Otras Nativas
Astillas Quillalhue	Valdivia	PR
Aserraderos Grob	La Unión	PR
Aserraderos Guerra	La Unión	PR y Pino Oregón

Tabla 7 Aserraderos con producción de residuos/desechos (INFOR, 2017)

## 6. Oferta: Calculo de la Disponibilidad de Biomasa

Uno de los principales objetivos contemplados en el desarrollo del proyecto, es estimar la disponibilidad y distribución geográfica de la biomasa forestal en la región. Para el cumplimiento de este, se realizó un levantamiento cartográfico del bosque regional, actualizado al año 2017. Este levantamiento fue verificado en terreno mediante transectos realizados en: la zona norte que incluye Choshuenco-Mehuín- Llifén. Hueicoya y Lago Ranco – desembocadura del Rio Bueno.

Los resultados indican que la región de Los Ríos posee una importante superficie de bosques con 1.177.940 ha de las cuales 967.913 ha son BN y 210.027 ha de plantaciones industriales. Por otra parte, la región de Los Ríos consume cerca del 10% del total Nacional de biomasa país, correspondiente a 1,2 millones de metros cúbicos sólidos de leña al año (Gerding, An der Fuhren et al., 2013).

Para la estimación de volumen y biomasa regional, se utilizaron 120 parcelas de inventario forestal permanente, instaladas en el contexto del Inventario de Dendroenergía y Carbono de CONAF. El Laboratorio de Geomática de la UACH, además incorporó al proyecto más 90 parcelas permanentes de su propiedad, provenientes de investigaciones financiada con los Fondos de Investigación del Bosque Nativo, FIBN. Lo anterior, se sistematizó e integró en una base de datos integral llamada Geodatabase, con el objeto de facilitar la aplicación de incentivos al manejo del BN contemplado en la Ley.

Se consultaron, otros estudios financiados por el FIBN de la región, que son públicos y dan cuenta de mediciones de crecimiento realizadas en parcelas permanentes de inventario en diversos tipos de BN. La Figura 21 muestra el área de estudio donde se considera la red de caminos, las líneas de transmisión eléctrica y aserraderos de la industria primaria de la región de Los Ríos.



Área de Estudio de Análisis Espacial de los Residuos de Biomasa Forestal - Región de Los Ríos.

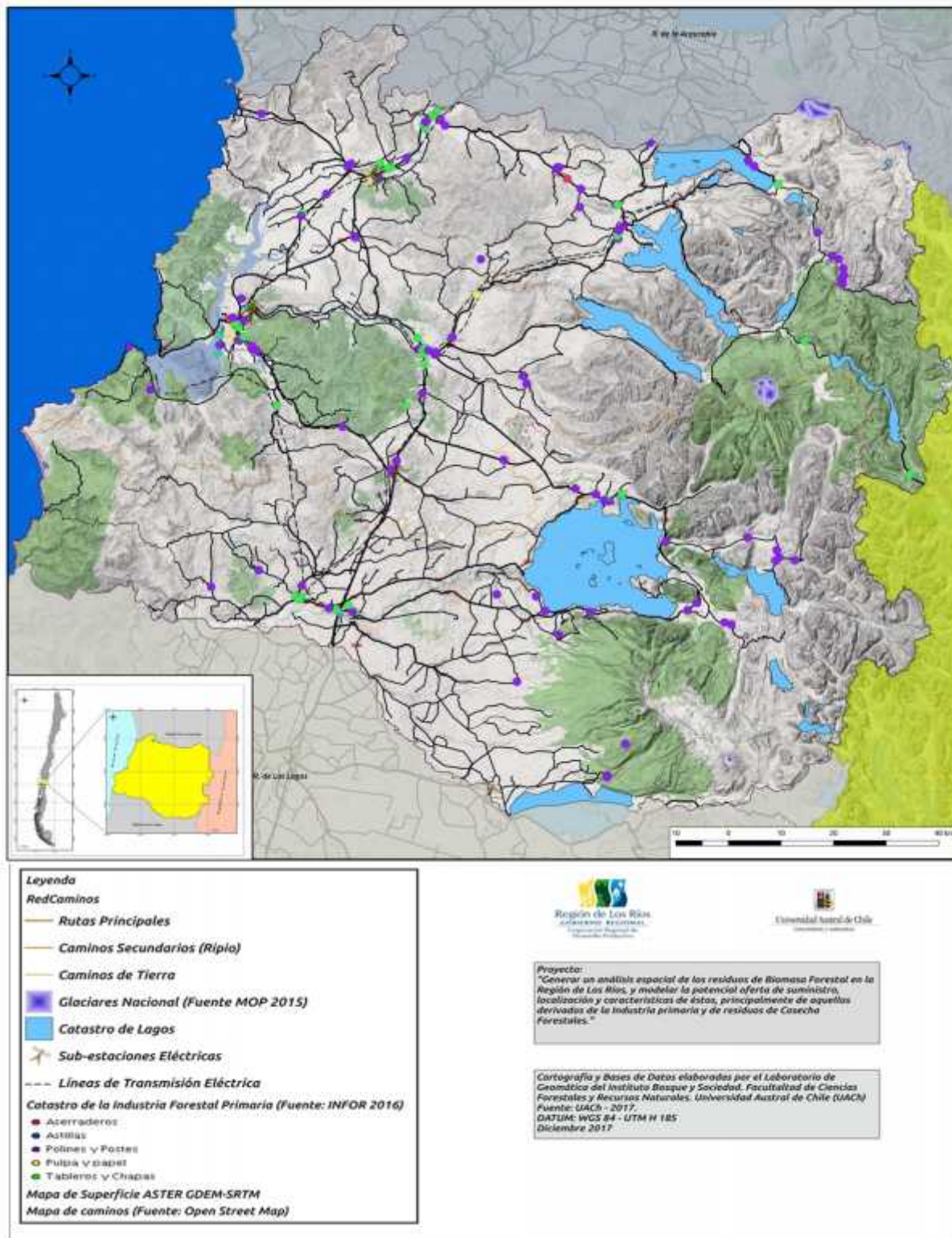


Figura 21 Área de estudio (Forestal, 2018)

## **6.1 Metodología Utilizada para la Estimación de Potencial de Biomasa Aprovechable**

La cartografía se generó en este proyecto, para la región de Los Ríos año 2017, vincula la descripción y distribución de áreas del bosque, con la disponibilidad de biomasa residual, post tratamiento silvícola y el desecho de cosecha y/o raleo en plantaciones considerando BN y plantaciones en la región de Los Ríos. Las principales fuentes de información consultadas en los diversos procesos de estimación biomasa y potencial energético, correspondieron a los siguientes estudios:

- ) Elaboración de cartografía ad hoc – año 2017 para el presente proyecto.
- ) Base de datos Inventario Nacional de Dendroenergía y Carbono, CONAF.
- ) Base de datos de parcelas de diversos estudios: Parcelas permanentes Nothofagus (Ortega Zúñiga, 1997), Parcelas permanentes Canelo (Loaiza Navarro, 2015), Tarugos de incremento (Ortega Zúñiga, 1997) y Tarugos extraídos en este proyecto.

### **6.1.1 Análisis Geográfico y Bases de Datos Regionales**

Para el análisis de información espacial y los múltiples atributos alfanuméricos, se utilizó un sistema de información geográfico con diversas funciones espaciales, capaces de ejecutar procesos, admitiendo diversos formatos cartográficos de datos tipo ráster y vectoriales. Se consideró el uso de QGIS 2.14, software que se distribuye bajo la Licencia Pública General GNU.

### **6.1.2 Estimación de Superficie Neta de BN y Plantaciones**

Para la estimación de la superficie con la biomasa potencialmente utilizable en la región, se elaboró cartografía actualizada al año 2017. Esta base digital, se estandarizó para cada polígono, con los siguientes atributos:

- ) Uso bosque.
- ) Sub-usos BN y plantaciones.
- ) Tipo forestal.
- ) Subtipo forestal.
- ) Estructura.
- ) Biomasa residual anual.
- ) Tasas de crecimiento promedio.
- ) Edad y especies de plantaciones industriales.
- ) Superficie en ha.



La superficie aprovechable con potencial productivo, entre ellos el dendroenergéticos a través de la biomasa residual proveniente de faenas de cosecha, raleo y/o podas, para lo cual, se determinó aplicando a la superficie bruta de BN y plantaciones, actualizada al año 2017, las restricciones o descuentos de toda superficie que tenga una prohibición de manejo legal o consideraciones de tipo ambiental, superficie que contenga bosque achaparrado; superficie de bosque en categoría “Abierto” según catastro, buffer de 10 m de líneas de alta tensión y buffer de caminos utilizando la cartografía oficial del Ministerio de Obras Públicas, 10 m caminos secundarios, 60 m caminos principales y 100 m autopistas y carreteras.

Esta metodología no sufrió variaciones relevantes respecto a la del año 2012, salvo que en esta ocasión se consideró una zona de buffer de exclusión a todos los polígonos clasificados como humedales y no solo al Humedal “Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter”. La Tabla 8 indica las restricciones consideradas para estimar la superficie neta manejable.

Es importante recalcar que, la superficie neta obtenida, es la utilizada para realizar las estimaciones de biomasa, y no considera restricciones de accesibilidad ni aspectos económicos asociados. Por lo tanto, se refiere solo a superficie físicamente disponible en la región.

La cartografía 2017, elaborada para este proyecto, permite determinar una superficie bruta de BN, la cual corresponde a **967.913 ha**. De esta superficie, se descontó las áreas que indican los criterios de exclusión y restricciones de uso mencionados en la metodología, resultando de este proceso una superficie neta de BN con potencial Dendroenergético de 509.397,4 ha, Tabla 9. La superficie total de plantaciones exóticas en la región, obtenida con la nueva cartografía año 2017 corresponde a **210.027 ha**. Sin embargo, al aplicar las mismas restricciones de la Tabla 8, las áreas cartografiadas y detectadas vía procedimiento descrito en Monitoreo 2017, disminuiría a una superficie disponible físicamente de **169.066 ha**.

Consideraciones de Exclusión	Base Legal	Institución	Fuente cartográfica disponibles
1) Bosque de cualquier superficie con presencia de especies protegidas legalmente o en categorías: “ <i>Peligro de Extinción</i> ”, “ <i>Vulnerable</i> ”, “ <i>Raras</i> ”, “ <i>Insuficientemente conocidas</i> ”	Art. 2.-Ley 20.283 Art. 37.-Ley 19.300 Art. 19.-Ley 20.283 D.S. 43.-1976: Araucaria D.S. 490.-1977: Alerce D.S. 13.-1995: Palma Chilena, Pitao, Quele, Ruil, Belloto del Norte y Belloto del Sur, Monumentos	MINAGRI CONAF CONAMA IUCN	Catastro de BN; Listado de especies en categoría de Conservación 2007-2008-2009-2012. Libro Rojo, IUCM
2) Bosques comprendidos en las categorías de manejo con fines de preservación que integran el SNASPE o aquel régimen con fines de preservación de adscripción voluntaria que se establezca.	D.S. 4.363 de 1931, texto de Ley de Bosques; D.L. 1.939 DE 1977; Convención de Washington; Ley 19.300 Art. 10.	CONAF CONAMA	Coberturas del SNASPE y ASPP.
3) Humedales RAMSAR y la zona de protección de 10 m. de ancho a todos aquellos categorizados como Humedales bajo la COT	Art. 10 y 12. Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D.82 de 2010.	MINAGRI	Coberturas Sitios Ramsar; Monitoreo 2017, Definición COT, Uso = 5
4) Zona de protección de exclusión de intervención: 5 m a ambos lados de cursos de agua cauce >0,2 m <sup>2</sup> y <0,5 m <sup>2</sup> y de 10 m cauce >0,5 m <sup>2</sup>	Art. 2 literal p y Art.3 del Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D.82 de 2010.	MINAGRI	Cobertura Hidrológica
5) Zona de protección de manejo limitado: 10 m. a ambos lados de cursos de agua, entre 30% y 45% de pendiente y de 20 m >45% de pendiente.	Art. 2 literal q; Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D.82 de 2010.	MINAGRI	Cobertura Hidrológica Y Modelo de elevación de pendientes.
6) Zona de exclusión de 500 m aledaño a Glaciares	Art. 17.-Ley 20.283	MINAGRI	Cobertura Catastro.
7) Exclusión de 5 m. dentro y fuera de cárcavas con profundidad >0,5 m y largo mínimo de 10 m.	Art. 16.- Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D.82 de 2010.	MINAGRI	CIREN y Modelo de elevación de pendientes.
8) Suelos <20 cm	Art. 9.- Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales D. 82 de 2010.	MINAGRI	Coberturas de erosión actual y potencial de CIREN y Catastro de BN.

Tabla 8 Restricciones para estimar la superficie neta manejable (Forestal, 2018)

	BN	Plantaciones
Superficie Bruta (ha)	967.913	210.027
Superficie Neta (ha)	509.397	169.066
Diferencia Superficies		
Superficie Excluida del Manejo con Fines Energéticos (ha)	458.516	40.961
Superficie Excluida del Manejo con Fines Energéticos (%)	47,4	19,3

Tabla 9 Superficie bruta y neta de BN con fines productivos 2017 (Forestal, 2018)

La superficie potencialmente aprovechable con fines productivos corresponde a un 52,6% de la superficie bruta total de BN de la región de Los Ríos. Las plantaciones exóticas e industriales alcanzan una superficie de 169.569 ha. La proyección, la escala de trabajo, la modernización de las herramientas SIG y el trabajo de control de terreno, han contribuido a mejorar las asignaciones y características de los atributos del bosque, principalmente la mayor resolución en el proceso de fotointerpretación en la generación de esta cartografía actualizada 2017. Este factor es el mayor responsable de una mayor exactitud en la estimación regional de la superficie neta de BN. A continuación, en la Figura 22, se representa la distribución espacial de las plantaciones exóticas y BN presentes en la región de Los Ríos. Cabe mencionar, que principalmente las plantaciones exóticas se concentran en la depresión intermedia y la superficie de BN en el sector precordillerano.

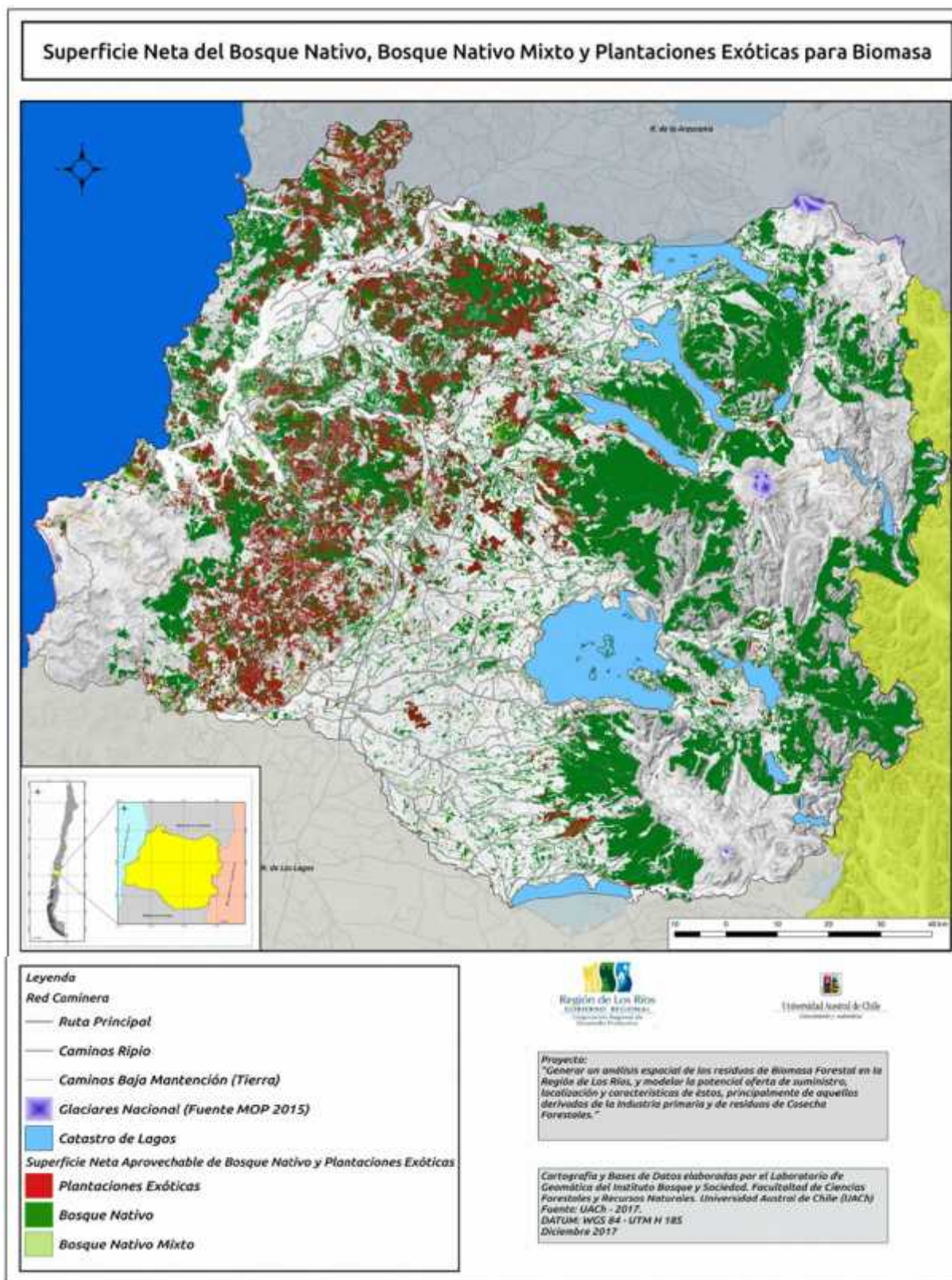


Figura 22 Superficie neta de BN y plantaciones exóticas (Forestal, 2018)

### **6.1.3 Tasas de Crecimiento por Tipo de Bosques**

El cálculo de la biomasa física proveniente de BN se estima considerando simulaciones de raleos comerciales con una frecuencia que dependerá de la recuperación del bosque después de esta intervención y de su Incremento Medio Anual, IMA, esta actualización contempló la recopilación de información de crecimiento de parcelas de inventarios tanto de CONAF, como de la UACH y de la Universidad Católica de Temuco.

## **6.2 Determinación de Biomasa, Ciclos de Corta y Flujo Anual de Biomasa**

Para este estudio se estableció como objetivo estimar para la región de Los Ríos, la producción de biomasa aprovechable. En el caso del BN, que se generaría a partir del manejo, a través de cortas intermedias o raleos. Los objetivos específicos fueron:

- ) Recopilar información de parcelas de inventario que permitan una mejor representación de las condiciones del BN.
- ) Incorporar en el cálculo de flujo anual de biomasa nueva información de tasas de crecimiento de las especies nativas.
- ) Estimar el flujo anual de biomasa potencialmente aprovechable existente en la región de Los Ríos.

En el caso de plantaciones exóticas, la estimación de biomasa residual de plantaciones industriales se realizó por tipo categoría de propietarios. El procedimiento utilizado para la estimación del flujo de biomasa se divide en cuatro etapas:

- ) La primera etapa considera la estimación de volúmenes a nivel de árbol a partir de la información de inventario.
- ) La segunda etapa considera la estimación de biomasa aprovechable para uso energético a partir de los volúmenes estimados considerando la estructura de los bosques.
- ) La tercera etapa considera la estimación de ciclos de corta sustentables.
- ) La cuarta etapa la estimación de flujo anual de biomasa para cada estrato.

Esta metodología es similar a la utilizada por el proyecto “Evaluación de Mercado de Biomasa y su Potencial” (Gerding, An der Fuhren et al., 2013), y se describe en el Anexo 3 – Metodología Evaluación de Mercado de Biomasa y su Potencial.



### 6.3 Estimación de Potencial Biomasa Aprovechable en Plantaciones de la Región

En ausencia de plantaciones dendroenergéticas o de uso exclusivo para la generación de energía, la estimación del potencial aprovechable en plantaciones se basa en la cuantificación de los residuos de procesos de cosecha final de plantaciones comerciales y que no incluye desechos de podas, raleos ni biomasa radical. Como primera fase se caracterizan las superficies que constituyen oferta dentro de la región con la información de especie, clase de edad y tipo de propietario. Luego, para estimar la tasa de cosecha anual se supone que las plantaciones han entrado en régimen y se cosechan a la edad de rotación. La biomasa disponible se determina por el producto de la superficie anual cosechada por especie multiplicada por la cantidad de biomasa aérea residual aprovechable por unidad de superficie en TS/ha. Aun cuando esta aproximación sugiere un flujo continuo desde todas las unidades y no los flujos los que ocurren en las edades de rotación, se estima de utilidad para el análisis espacial y de costos marginales de abastecimiento de plantas de energía.

Para el análisis se consideró la cosecha de *PR* a la edad de 18 años para el segmento de propietarios NEF y 23 años para el caso de Empresas Forestales, EF. *Eucalyptus sp.* consideró 10 años para NEF y 12 años para EF. Los desechos de cosecha de *PR* se estiman de 25 TS/ha a 41 TS/ha, mientras que para *Eucalyptus sp.* entre 48 TS/ha y 68 TS/ha (Forestal, 2018). Para este trabajo se consideró los valores mínimos de los rangos señalados en la Tabla 10.

Especie	Biomasa Potencial		Biomasa asignada
	(m <sup>3</sup> est)	(TS/ha)	(TS/ha)
<i>PR</i>	110-180	25-41	25
<i>Eucalyptus sp.</i>	170-240	48-68	48

Tabla 10 Disponibilidad física de biomasa aérea por especie en cosecha final (Forestal, 2018)

#### 6.3.1 Características Físicas de la Biomasa Forestal Regional

La estimación de biomasa se realizó utilizando valores de densidad básica específicas para cada una de las especies nativas o asignando valores pertenecientes al mismo género. Para aquellas especies nativas sin información de densidad básica se aplicó un valor de 450 kg/m<sup>3</sup> para realizar los cálculos.

La densidad básica de la madera proveniente de bosques nativos varía entre especies y estados de desarrollo, sin embargo, el poder calorífico, para un determinado contenido de humedad, resulta más o menos uniforme por unidad de biomasa seca. Por esta razón, la disponibilidad de biomasa de cada polígono de oferta, según el tipo forestal, estructura y especies que lo componen, se llevó a unidades de masa seca, TS, considerando la densidad básica de las especies participantes en cada tipo forestal, unidades que fueron convertidas a unidades físicas de calor y energía. En el caso de biomasa de

plantaciones se utilizó una densidad básica y poder calorífico diferentes a la biomasa de BN como se puede apreciar en la Tabla 11.

Tipo Biomasa	Densidad Básica (TS/m <sup>3</sup> s)	Poder Calorífico Inferior 50% CHbs (kcal/kg)	Potencial Térmico 70% (kWh/kg)	Potencial Eléctrico 30% (kWh/kg)
<b>BN</b>	0,57	2.686	2,19	0,94
<b>PR</b>	0,39	2.150	1,75	0,75
<b><i>Eucalyptus sp.</i></b>	0,54	2.938	2,39	1,03

Tabla 11 Propiedades físicas de la biomasa forestal (Burgos-Olavarría, Guineo et al., 2015)

Un factor crítico en la eficiencia de la generación es el contenido de humedad de la biomasa. Las estimaciones se basan en el supuesto que una vez cosechada la biomasa, tendrá un tiempo variable de espera en acopios en origen, intermedios o en destino, para reducir en forma natural o forzada, el contenido de humedad hasta su condición aceptable para combustión. A pesar de que el contenido de humedad de la biomasa verde es variable, entre 80% y 120% base seca, según componente del árbol, especie, temporada y zona climática, se asume que la biomasa está en condiciones de iniciar proceso de transformación cuando su humedad alcanza el 50% base peso seco o menor.

### 6.3.2 Barreras a la Utilización de Biomasa Caso BN

Si bien debido al crecimiento biológico arbóreo existe una disponibilidad anual de biomasa en pie, aprovechable de forma sustentable, sólo una parte de ella podrá llegar a ser utilizada industrialmente como insumo en la generación de energía. Existen algunas restricciones que comprenden tanto la disposición del propietario a participar en cadenas productivas como factores técnicos y económico-financieros:

#### 6.3.2.1 Reducido Mercado para Productos Maderables

En la situación actual prácticamente no existen desechos de BN ya que la tasa de intervención es marginal, correspondiente con la ausencia de mercado constante para los productos maderables. Esto igualmente limita las inversiones en caminos internos prediales y una modernización de las tecnologías de producción. Por consiguiente, la disponibilidad de biomasa potencial determinada en este estudio requiere de la utilización de productos maderables, más nobles, para hacerse efectiva. Poderes compradores de biomasa para energía sin un desarrollo de mercados para productos maderables podría conducir a la criticada degradación de madera ocurrida en el pasado mercado de astillas. La producción directa de biomasa para energía conduciría a costos semejantes a la producción de leña.

#### **6.3.2.2 Limitantes Tecnológicas y Medioambientales**

No hay experiencia local respecto del grado de aprovechamiento de biomasa en procesos de cosecha de BN, los ejemplos vienen en su mayoría de cosechas a tala rasa en plantaciones. La literatura muestra, en diferentes países, el gran interés por dejar un porcentaje de los residuos leñosos gruesos para refugio de biodiversidad, protección de suelo y limitar la exportación de elementos químicos. Igualmente, a nivel local, el Reglamento de Suelos, Aguas y Humedales de la Ley N°20.283 prohíben el retiro de residuos leñosos menores de 3 cm de diámetro para la protección de suelos (CONAF, 2016). Por otra parte, Haq (Haq, 2002) señala que la recuperación de biomasa para la generación de energía depende de las tecnologías empleadas, además de las dificultades del terreno. En estudios anteriores se fijó en 75% el aprovechamiento de biomasa (Forestal, 2018).

#### **6.3.2.3 Insuficiente y Baja Calidad de la Red de Caminos Internos**

La mayor parte de los caminos en BN son de temporada o con un tipo de carpeta de baja inversión, aunque con mayor costo de mantención, tierra, lo cual impide la continuidad del abastecimiento durante todo el año, quedando limitado a la temporada seca. La inversión requerida en caminos difícilmente puede ser amortizada en el corto plazo por propietarios con superficies y volúmenes de producción pequeños, menos factible sin la producción de madera para fines de aserrío.

#### **6.3.2.4 Falta de Capital de Trabajo y Financiamiento**

Los propietarios deben enfrentar el financiamiento de la producción con recursos propios y soportar los costos del capital por almacenaje, tanto por la inversión en galpones de secado como por los tiempos de espera mientras la biomasa alcanza niveles de humedad aceptables para su utilización o entrada al mercado. Esta situación afecta principalmente el acceso de pequeños productores, tal como se aprecia en el caso de la producción de leña.

#### **6.3.2.5 Competencia con Usos Actuales**

El abastecimiento de biomasa para energía probablemente se enfocará a especies menos atractivas para los usuarios de leña o usos industriales, tableros, aunque el mercado ha estado en evolución incorporando un mayor número de especies. Optar por especies preferidas para leña obligaría a los productores de energía a cubrir el costo de oportunidad de los propietarios, esto es, ofrecer precios iguales o mayores que la competencia. En este sentido, la disponibilidad de biomasa para energía debe restar los usos actuales.



#### **6.3.2.6 Desinterés del Propietario por Factores Económicos o Deseo de Conservar**

Es esperable que algunos propietarios decidan no participar en la oferta de biomasa para energía, ya sea porque el precio de la biomasa no es satisfactorio para cubrir los costos de producción y de transporte, no tengan oportunidad de un mercado para productos maderables o simplemente no deseen poner sus bosques en producción.

#### **6.3.3 Barreras a la Utilización de Biomasa Caso Plantaciones**

En esta región, la mayor parte de los residuos de cosecha de plantaciones están en manos de las empresas forestales con un 83,5%, es decir sólo el restante 16,5% en manos de pequeños y medianos propietarios tiene mayor posibilidad de constituir oferta efectiva para nuevas plantas de energía. Además, según Bertrán y Morales (Bertrán and Morales, 2008) es deseable un aprovechamiento máximo del 75% de los residuos para asegurar buenas condiciones tanto para la protección física del suelo como del ciclo de nutrientes. Acceder a la biomasa residual de empresas forestales obligaría a igualar o superar los costos de transferencia utilizados internamente para estos efectos o hacerse cargo de aquella disponibilidad marginal menos interesante para las empresas.

Otra restricción la constituye la fragmentación de las superficies, ya que superficies pequeñas limitan la posibilidad de un aprovechamiento mecanizado y el traslado de astilladores a predio. Estudios anteriores han estimado que la superficie mínima para un aprovechamiento mecanizado y económico de la cosecha, traslado de maquinaria, requiere al menos de 25 ha (Forestal, 2018). Mecanización que se ve limitada igualmente por las deficientes condiciones de muchos caminos y puentes en la región.

#### **6.4 Resultados de la Estimación de Potencial de Biomasa Aprovechable**

La información cartográfica elaborada y actualizada al año 2017 permitió cuantificar y localizar la superficie de BN y plantaciones exóticas en la región de Los Ríos. El procesamiento de la información cartográfica para la estimación de superficie neta consideró restricciones de tipo legal, ambiental, y consideraciones socioculturales. Cabe mencionar, que aquellos polígonos resultantes de aplicar las restricciones ambientales y legales posean superficies bajo o igual a 0,5 ha, se dejaron afuera del análisis.

Luego de aplicadas estas restricciones a la superficie regional de BN, se estimó una superficie neta de 509.397,4 ha susceptible a manejo silvícola. Esta superficie considera siete tipos forestales: Ciprés de las Guaitecas, Lengua, Coihue de Magallanes, Roble-Raulí-Coihue, Coihue-Raulí-Tepa, Esclerófilo y Siempreverde de BN y plantaciones regionales como se puede apreciar en la Tabla 12.



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Tipo Forestal	Subtipo	Estructura de Bosques				Total
		BA (ha)	BR (ha)	RE > 12 (ha)	RE < 12	
<b>Ciprés de las Guaitecas</b>	Ciprés de las Guaitecas	0	178,3	0	178,3	178,3
<b>Lenga</b>	Lenga	9.455,3	2.400,5	0	2400,5	11.855,8
	Lenga - Coihue de Magallanes	2.496,3	0	0	0	2.496,3
	Lenga - Coihue Común	36.306	70,5	0	70,5	36.376,5
	Ñirre	268,1	1.930,9	180,9	1.750	2.199,0
<b>Coihue de Magallanes</b>	Coihue de Magallanes	3.575,7	65,2	65,2	0	3.640,9
<b>Roble - Raulí - Coihue</b>	Roble – Raulí - Coihue	2.274,4	2.572	2.100,6	471,4	4.846,4
	Coihue	75,2	56.307,8	33.293,7	23.014,1	56.383,0
	Roble	19.153,5	107.036	64.344,2	42.692	126.189,5
<b>Coihue - Raulí - Tepa</b>	Coihue – Raulí - Tepa	27.177,7	0	0	0	27.177,7
	Coihue	70.902,8	228,5	190	37,8	71.131,3
	Coihue - Tepa	73.014,1	0	0	0	73.014,1
<b>Esclerófilo</b>	Esclerófilo	0	84,1	12,5	71,6	84,1
<b>Siempreverde</b>	Renoval Canelo	11,9	22.838,7	3.434,5	19.404,2	22.850,6
	Tepú	0	559,1	3,0	556,1	559,1
	Mirtáceas	38,2	10.571,9	1.179,5	9.392,4	10.610,1
	Coihue de Chiloé	2.638,7	102,3	9	93,3	2.741,0
	Siempreverde	37.526,2	19.537,5	2.426,3	17.111,2	57.063,7
<b>Superficie Neta por Estructura del Subtipo Forestal (ha)</b>		284.914,1	224.483,3	107.239,4	117.243,4	509.397,4

Tabla 12 Superficie neta de la región de Los Ríos

En general el tipo forestal con mayor superficie neta como potencial de biomasa aprovechable es el Roble – Raulí – Coihue con 187.418,9 ha, le sigue el tipo forestal Coihue – Raulí – Tepa con una superficie neta de 171.323,1 ha y a continuación el tipo forestal Siempreverde con 93.824,5 ha. Cabe destacar, que estos 3 tipos forestales representan el 88,8% de la superficie neta aprovechable como biomasa de los bosques nativos y nativos mixtos presentes en la región de Los Ríos.

#### 6.4.1 Determinación Oferta de Biomasa en Plantaciones Exóticas

La clasificación de las plantaciones exóticas presentes en la región se procedió en la consulta con las GEF para ubicar y delimitar sus predios o patrimonio silvícola. También, se consultó con la agrupación de medianos y pequeños propietarios de plantaciones exóticas. Ambas capas se cruzaron, para extraer todo lo categorizado como plantación bajo la Carta de Ocupación de la Tierra, COT, mediante el monitoreo y clasificación de imágenes realizada por nuestro Laboratorio de Geomática (Forestal, 2018). Por lo tanto, todas las plantaciones que se encontraban fuera del patrimonio de ambas

categorías de empresarios o medianos propietarios forestales asociados, se les asignó la determinación de plantación exótica a través de monitoreo (Forestal, 2018). Cabe mencionar, que en manos de pequeños y medianos propietarios se encuentra el 22,1% de la superficie de plantaciones exóticas, existentes en la región como se puede apreciar en la Tabla 13, en donde se hace una segmentación de plantaciones exóticas con identificación del segmento de empresas forestales y patrimonio de propiedad por rango de edad.

Superficie (ha) por Rango de Edad (años) y Tipo de Propiedad						Total, Superficie Propiedad Monitoreo (ha).
Periodo (años)	1 – 5	6 – 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	
<b>Pyme</b>	1.833,3	9.748,5	9.310,1	7.615,5	5.562,4	34.069,8
<b>Grandes Empresas</b>	7.658,5	21.691,5	14.057,6	19.114,8	35.631,8	98.154,1
<b>Detectada Monitoreo año 2017<sup>3</sup></b>	7.865,2	0,0	29.480,2	0,0	0,0	37.345,4
<b>Total, Superficie de Plantaciones Exóticas (ha)</b>	17.357,0	31.440,0	52.847,9	26.730,3	41.194,2	169.569,3

Tabla 13 Superficie por tipo de propiedad/rango de edad de plantaciones exóticas (Forestal, 2018)

La diversidad y gran dispersión de los polígonos en predios particulares y la diversidad de especies en aquellos predios que no se agrupan en los diferentes tipos de empresarios forestales, se puede apreciar por rango de edad en la Tabla 14.

Tipo Propiedad o Detección vía Monitoreo	Especie	Superficie (ha) por Rango de Edad (años) y Tipo de Propiedad					
		1 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	> 21	
<b>Pyme</b>	<i>Eucalyptus sp.</i>	1.533,8	9.511,7	9.299,4	7.368,2	2.553,1	30.266,9
	PR	129,8	451,7	416,6	569,0	3.109,5	4.676,6
<b>Empresas</b>	<i>Eucalyptus sp.</i>	1.573,4	5.031,1	6.594,6	9.472,0	4.209,3	26.880,4
	Pino Oregón	0,0	38,4	11,0	3,6	28,6	81,6
	PR	6.193,6	17.034,2	7.773,0	10.043,4	31.900,8	72.945,0
<b>Detectada Monitoreo 2017<sup>4</sup></b>	Otras Especies	794,0	89,1	6.558,1	0,0	0,0	7.441,2
	<i>Eucalyptus sp.</i>	1.838,7	0,0	9.895,2	0,0	0,0	11.733,9
	Pino Oregón	1.052,3	0,0	2.093,3	0,0	0,0	3.145,6
	PR	4.484,9	0,0	12.042,6	0,0	0,0	16.527,5
<b>Total</b>		17.600,5	32.156,2	54.683,8	27.456,2	41.801,8	173.698,8

Tabla 14 Superficie por tipo de propiedad y especie (Forestal, 2018)

<sup>3</sup> No incluida en Pymes y Grandes Empresas Forestal, GEF.

<sup>4</sup> No incluida en Pymes y Grandes Empresas Forestal, GEF.

Se ha podido determinar que existe la factibilidad en superficie física disponible de 509.397 ha de BN y nativo mixto, de los cuales el 55,9% de esa superficie, han sido catalogados con estructura y atributo de bosques adulto.

Las tasas estimadas de cosecha, unas 4.300 ha/año de *PR* y otras 7.500 ha/año de *Eucalyptus sp.*, corresponden a la situación futura o de régimen, condición aún no alcanzada. Esta difiere de la tasa de reforestación de las comunas, informadas por CONAF, las que en promedio debieran corresponder a las tasas de cosecha.

Basado en las estadísticas de reforestación, entre 2007 y 2016, se estima una cosecha de unas 4.500 ha/año, distribuidos en 2.466 ha/año de *PR*, 1.719 ha/año de *Eucalyptus sp* y el resto en otras especies, de las cuales sólo el 16,5% estaría en manos de pequeños propietarios, 750 ha/año (CONAF, 2017). En igual periodo dominaron las reforestaciones de plantaciones de *PR* con un 54,8% y *Eucalyptus nitens* con un 38,2%.

#### **6.4.2 Biomasa en BN**

Según las estimaciones y consideraciones del Explorador de Biomasa Nacional, realizado por la UACH en el año 2013, se determinó el flujo de biomasa.

##### **6.4.2.1 Flujo Anual de Biomasa Estimado para la Región: BN**

El flujo anual a nivel regional se obtiene multiplicando la superficie de cada estrato como se puede apreciar en la Tabla 15 por la anualidad de biomasa calculada. En total se estima que la región presenta un flujo potencial de biomasa 1.892.260,5 TS/año.

Tipo Forestal	Subtipo	Estructura de Bosques				Flujo anual de Biomasa (TS/año)
		BA	BR	RE > 12	RE < 12	
Lenga	Lenga	20.801,6	7.918,7	0,0	7.918,7	28.720,3
	Lenga - Coihue de Magallanes	5.491,9	0,0	0,0	0,0	5.491,9
	Lenga - Coihue Común	39.937,0	211,6	0,0	211,6	40.148,6
	Ñirre	589,7	2.914,2	596,9	2.317,2	3.503,9
Coihue de Magallanes	Coihue de Magallanes	11.084,6	267,5	267,5	0,0	11.352,1
Roble - Raulí - Coihue	Roble - Raulí - Coihue	0,0	22.798,5	21.033,6	1.764,9	22.798,50
	Coihue	0,0	240.642,0	196.434,0	44.207,6	240.642,00
	Roble	97.683,1	563.722,0	379.634,0	184.088,0	661.405,1
Coihue - Raulí - Tapa	Coihue-Raulí-Tapa	43.484,3	0,0	0,0	0,0	43.484,3
	Coihue	304.882,0	1.211,2	1.010,8	200,4	306.093,2
	Coihue-Tapa	255.775,0	0,0	0,0	0,0	255.775,0
Esclerófilo	Esclerófilo	0,0	106,6	16,3	90,4	106,6
Siempreverde	Renoval Canelo	0,0	53.726,2	7.556,0	46.170,2	53.726,2
	Tepú	0,0	288,2	2,4	285,8	288,2
	Mirtáceas	64,9	29.548,4	3.538,4	26.009,9	29.613,3
	Coihue de Chiloé	9.235,4	368,0	21,6	346,4	9.603,4
	Siempreverde	135.094,0	44.413,9	6.066,2	38.347,7	179.507,9
<b>Total</b>		924.123,5	968.137,0	616.177,7	351.958,8	1.892.260,5

Tabla 15 Flujo anual de biomasa región de Los Ríos (Forestal, 2018)

Las estructuras de bosques que aportan mayormente al flujo anual de biomasa se encuentran la estructura de bosque renoval con 968.137 TS/año, lo que representa el 51,2%, del flujo total anual. Cabe mencionar, que el 63,6% del flujo anual, se encuentran en los renovales sobre 12 m de altura. El Tipo Forestal Roble – Raulí – Coihue y el subtipo Roble, representa el 58,2% o sea 563.722 TS/año del flujo potencial de biomasa que aportan los renovales. Respecto del flujo de biomasa a nivel de tipos forestales, se ve una mayor representación de biomasa en los tipos forestales Roble-Raulí Coihue y Coihue Raulí Tapa entre el año 2017.

#### 6.4.3 Distribución Espacial de la Biomasa Aprovechable

A partir de las tablas anteriores, se presenta la distribución de biomasa anual en TS/ha/año aprovechable desde el BN y de plantaciones exóticas como se puede apreciar en la Figura 23 y la Figura 24.



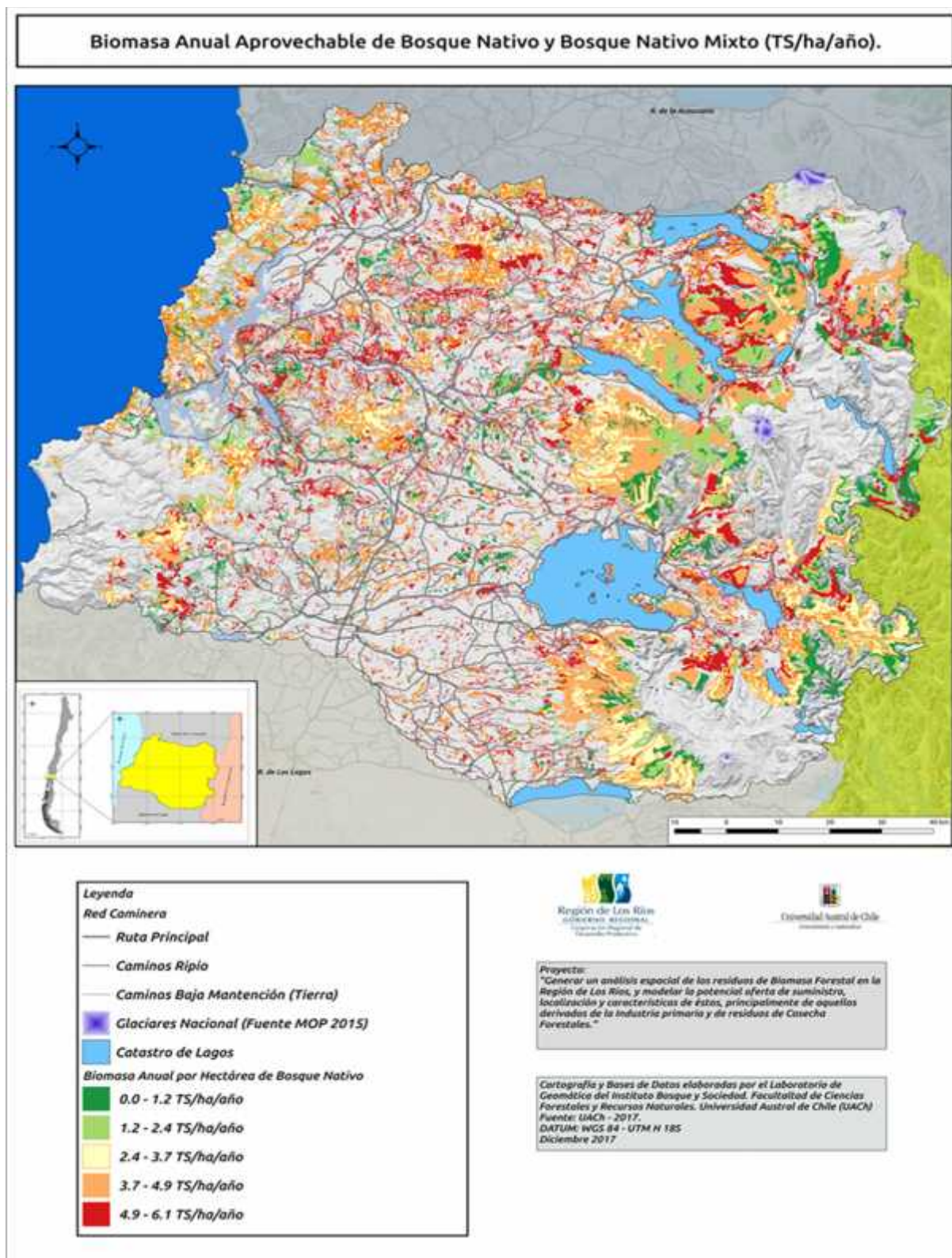


Figura 23 Distribución de biomasa aprovechable desde BN (Forestal, 2018)



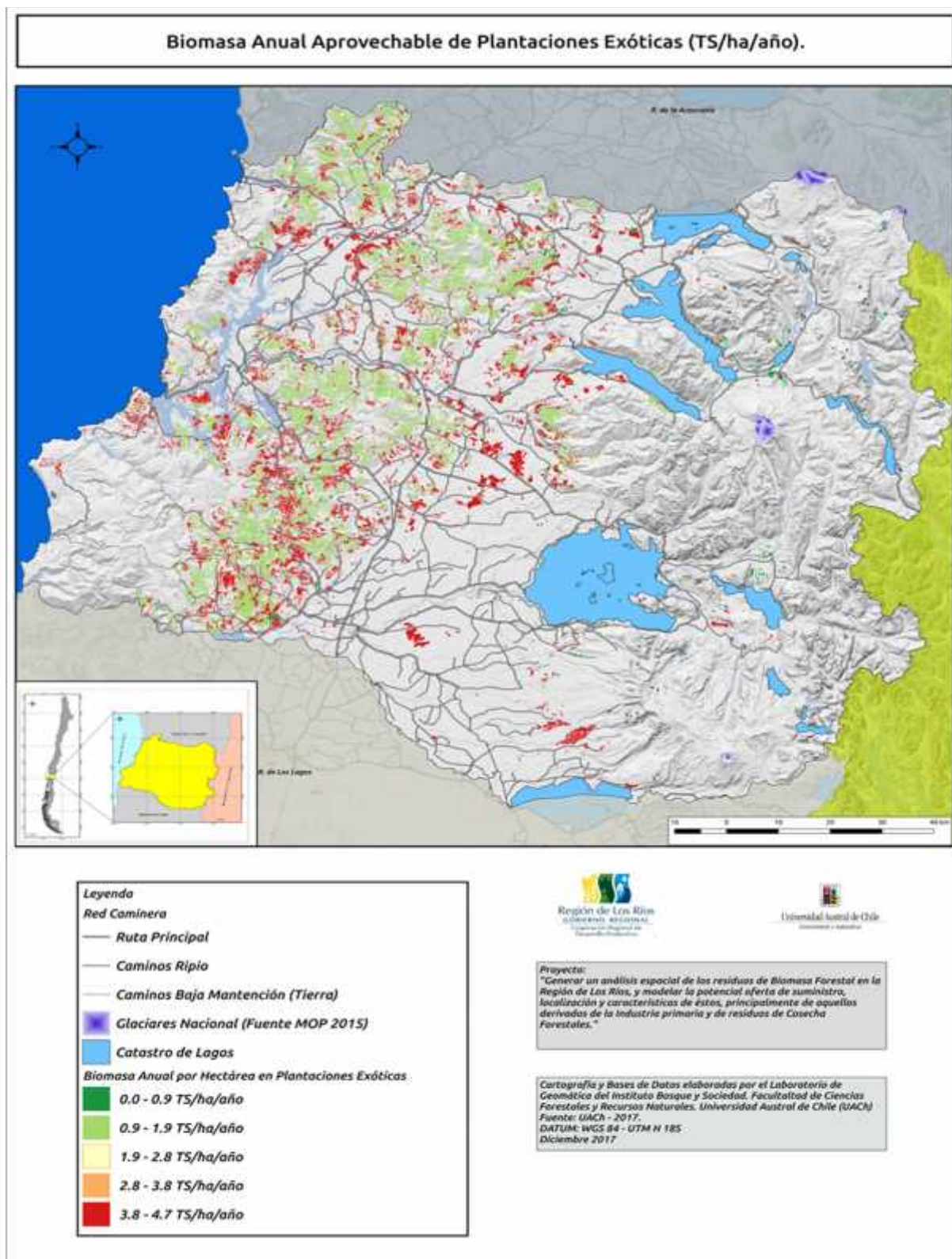


Figura 24 Distribución de biomasa aprovechable desde plantaciones exóticas (Forestal, 2018)

Si consideramos la cifra de biomasa Anual aprovechable del 2017 con fines dendroenergéticos para la región de los Ríos, alcanza los 1.892.242,6 TS/año como se puede apreciar en la Tabla 16.

Tipo Forestal	Biomasa Aprovechable (TS/año)
<b>Lenga</b>	77.864,7
<b>Coihue de Magallanes</b>	11.352,1
<b>Roble - Raulí - Coihue</b>	924.827,5
<b>Coihue - Raulí - Tepa</b>	605.352,7
<b>Esclerófilo</b>	106,6
<b>Siempreverde</b>	272.739,0
<b>TOTAL, Regional</b>	1.892.242,6

Tabla 16 Biomasa aprovechable por tipo forestal (Forestal, 2018)

#### 6.4.3.1 Flujo Anual de Biomasa Estimado para la Región: Plantaciones Exóticas

En la Tabla 17 se presenta el flujo anual de biomasa en TS/año para todas las superficies categorizadas como plantaciones exóticas, en los patrimonios forestales de empresas como particulares, se consideró establecer cinco rangos de edad.

Tipo Propiedad Plantaciones Exóticas	Flujo anual de Biomasa (TS/año)					Total
	1 a 5	6 - 10	11 - 15	16 - 20	21 - 25	
<b>Pymes</b>	8.192,9	44.326,5	42.384,6	33.809,5	15.860,7	102.189,6
<b>Grandes Empresas</b>	15.641,1	44.314,0	38.583,7	56.303,1	62.878,2	217.720,1
<b>Detectada Monitoreo 2017<sup>5</sup></b>	17.686,8	0,0	88.223,7	0,0	0,0	105.910,5
<b>Total, por Rango de Edad (TS/año)</b>	41.520,8	88.640,5	126.807,4	90.112,6	78.738,9	425.820,2

Tabla 17 Flujo de biomasa residual en plantaciones exóticas (Forestal, 2018)

No obstante, debido a las condiciones actuales de distribución de las especies en edad de cosecha, y la tasa de cosecha aproximada desde las tasas de reforestación, se estima que la biomasa de residuos generados por cosechas finales de plantaciones en manos de Pymes o propietarios NEF de 16,5% es cercana al 30% de la estimación en base a situación futura en régimen o sea unas 31.500 TS/año.

<sup>5</sup> No incluida en Pymes y Grandes Empresas Forestal, GEF.

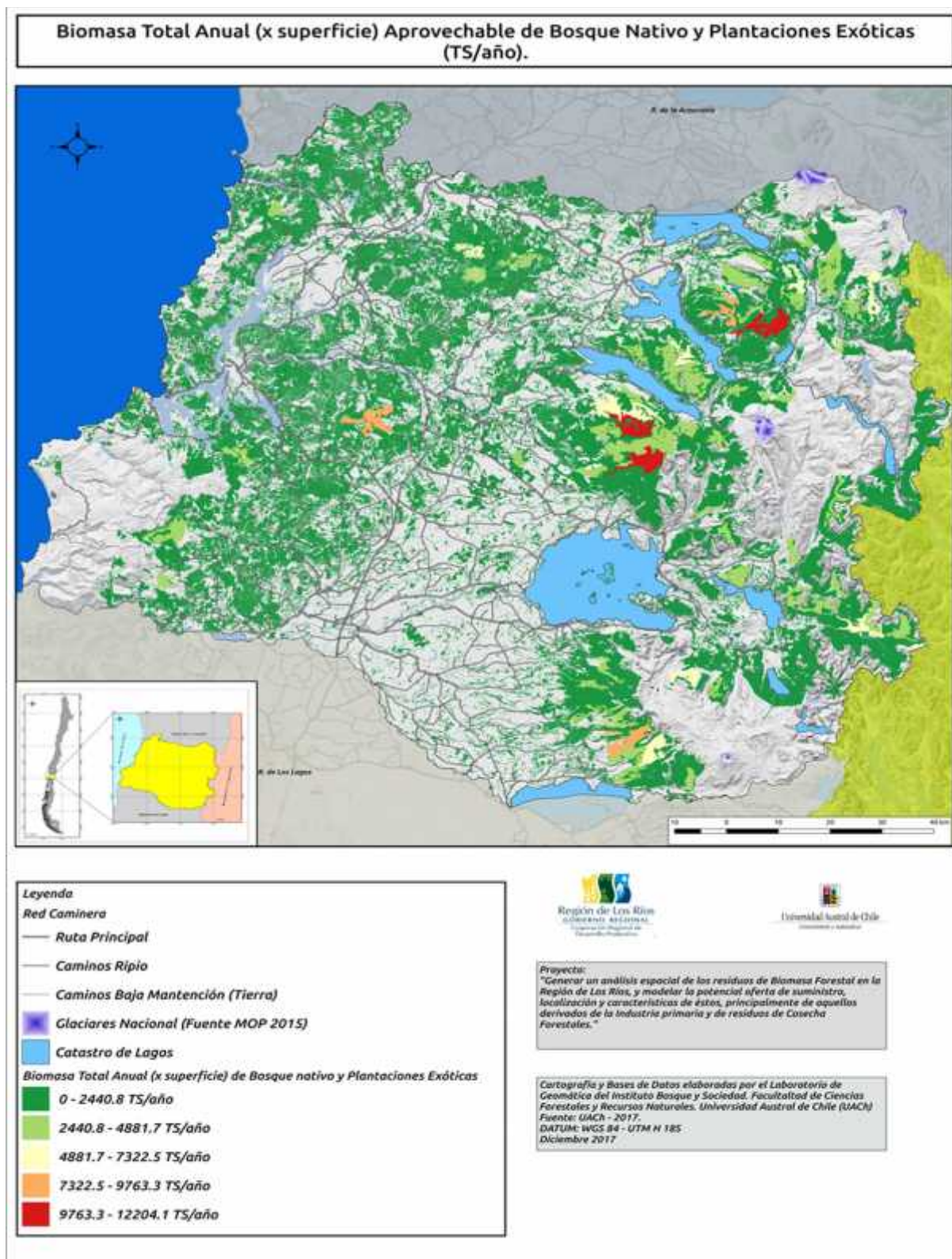


Figura 25 Flujo de biomasa aprovechable BN y plantaciones (Forestal, 2018)



#### 6.4.4 Presentación Mapa de Calor en Plantaciones Exóticas y BN

A partir de la construcción de la oferta disponible y aprovechable de biomasa forestal, tanto de plantaciones y de BN, se procesó a la elaboración de un mapa de calor, que muestra gráficamente la concentración espacial en el territorio de la región de Los Ríos, de lugares en los cuales, la oferta de biomasa disponible es mayor y está más concentrada.

En la Figura 26, se presenta en forma gráfica una agrupación, metodología Kernal uniforme, que pondera la superficie de cada polígono y la biomasa que representa el subtipo forestal. Los círculos de menor cantidad de biomasa total, biomasa unitaria por unidad de superficie, son aquellos de color amarillo y los de mayor cantidad de biomasa total por polígono son aquellos de color rojo.

La concentración de oferta de biomasa aprovechable está en las zonas precordilleranas, en las comunas de Panguipulli, Lanco, Futrono, Rio Bueno y Lago Ranco. Estas áreas concentran la mayor cantidad de predios sin intervención y en manos de terceros propietarios, que dan como alternativa el uso para biomasa. La “oferta de biomasa aprovechable” en plantaciones exóticas y BN tiene una directa relación con la disponibilidad del recurso forestal, el uso del suelo y las condiciones de menor presencia de la gran empresa forestal.

Es importante señalar que el grado de aprovechamiento de la madera en los procesos industriales ha venido en aumento considerando los usos secundarios de los desechos y autoconsumo de la biomasa en procesos de generación de calor, venta de leña, astillas u otros. En consecuencia, el desecho ya no tiene valor cero sino el costo de oportunidad del uso anterior. Cabe mencionar, que la mayor concentración de biomasa de BN, se encuentra, en los sectores precordilleranos de la cordillera de Los Andes, sin embargo, no se presentan con una conectividad de caminos. Lo anterior, podría impedir la logística de entrega de estos suministros en todas las épocas de año, en específico en períodos de invierno.

Al analizar, la distribución espacial de las industrias primarias, en especial los aserraderos móviles, se puede ver que se encuentran dispuestos en la precordillera andina. Sin embargo, su característica propia de producción hace que sus propietarios trasladen en forma constante sus aserraderos hasta los propios bosques para su procesamiento in-situ. Lo anterior, deja el criterio que la biomasa residual estimada, podría ser solo teórico, debido a que el residuo quedaría en el mismo bosque.

La gran porción de color amarillo denota que existe una gran atomización de la biomasa, en bosquetes y no en grandes unidades como lo presentado en los círculos de color naranja y rojo. Cabe mencionar, que el radio de las circunferencias es un clúster o agrupación entre la biomasa presente en el polígono y la superficie que posee el bosque. Por tanto, en aquellas circunferencias de color naranja hacia el

rojo y el radio, es una ponderación, kernal, entre la biomasa del tipo forestal y la superficie que posee el bosque.

Se ha estimado que la región presenta un flujo potencial de biomasa residual forestal, proveniente desde el BN, de una cantidad de 1.892.260,5 TS/año. A partir del valor total y del análisis de la Figura 26, es posible destacar lo siguiente:

- ) Las estructuras boscosas que aportan mayormente al flujo anual de biomasa residual se encuentran en las estructuras catalogadas como renovales con una cantidad de 968.137 TS/año, lo que representa el 51,2% del flujo total anual.
- ) El 63,6% del flujo anual, se encuentra en los renovales con una altura mayor a 12 m. El tipo Forestal Roble – Raulí – Coihue, subtipo Roble, representa el 58,2% o 563.722 TS/año del flujo potencial de biomasa que aportan los renovales.
- ) Respecto del flujo de biomasa a nivel de tipos forestales, se aprecia el mayor aporte de la biomasa en los Tipos Forestales Roble – Raulí – Coihue y Coihue – Raulí – Tepa.
- ) Las comunas que presentan el mayor potencial de biomasa residual en BN son Panguipulli, Los Lagos, Futrono, Río Bueno y Lago Ranco con 1.267.050,97 TS/año.

En forma gráfica se puede observar en el mapa de calor, Figura 26, que existen dos áreas relevantes donde la concentración del flujo de biomasa es principalmente de BN. Estas áreas son cerca de Panguipulli, entre Coñaripe, Neltume y Choshuenco. Una segunda área, se ubica al norte de la comuna de Futrono, hasta la zona sur del Lago Riñihue. La concentración del flujo de biomasa de plantaciones de especies exóticas en cambio se concentra en la depresión intermedia, en las comunas de Paillaco y Los Lagos.

Respecto a las plantaciones exóticas, representadas en el mapa de calor, se estima que la región de Los Ríos presenta un flujo potencial en régimen, de 425.820,2 TS/año. La cifra recién mencionada es posible desagregarla en:

- ) Pymes, posee un total de biomasa residual de 102.189,6 TS/año.
- ) Las GEF, con un total de 217.720,1 TS/año.
- ) Monitoreo 2017, representa un total de 105.910,5 TS/año, cifra está aún en proceso de revisión.

Teniendo en cuenta que la biomasa que proviene desde el BN es por ahora solo potencial físico disponible, los residuos de cosecha de plantaciones constituyen la mayor parte de la oferta actual de biomasa para fines energéticos, lo que alcanza a una cifra de 202.283 TS/año, la que se duplicará

cuando las plantaciones entre en régimen, 425.820,2 TS/año. La mayor parte de la biomasa residual de cosecha, un 79%, proviene de la Provincia de Valdivia, de las comunas de San José de la Mariquina, Máfil y Los Lagos. La comuna de la unión, de la Provincia del Ranco aporta un 20%.

No obstante, gran parte de esta biomasa está parcialmente cautiva o comprometida en los procesos productivos de las grandes empresas forestales, quedando disponible sólo cerca de 33.380 TS/año, residuos que están en manos de propietarios considerados como GEF.

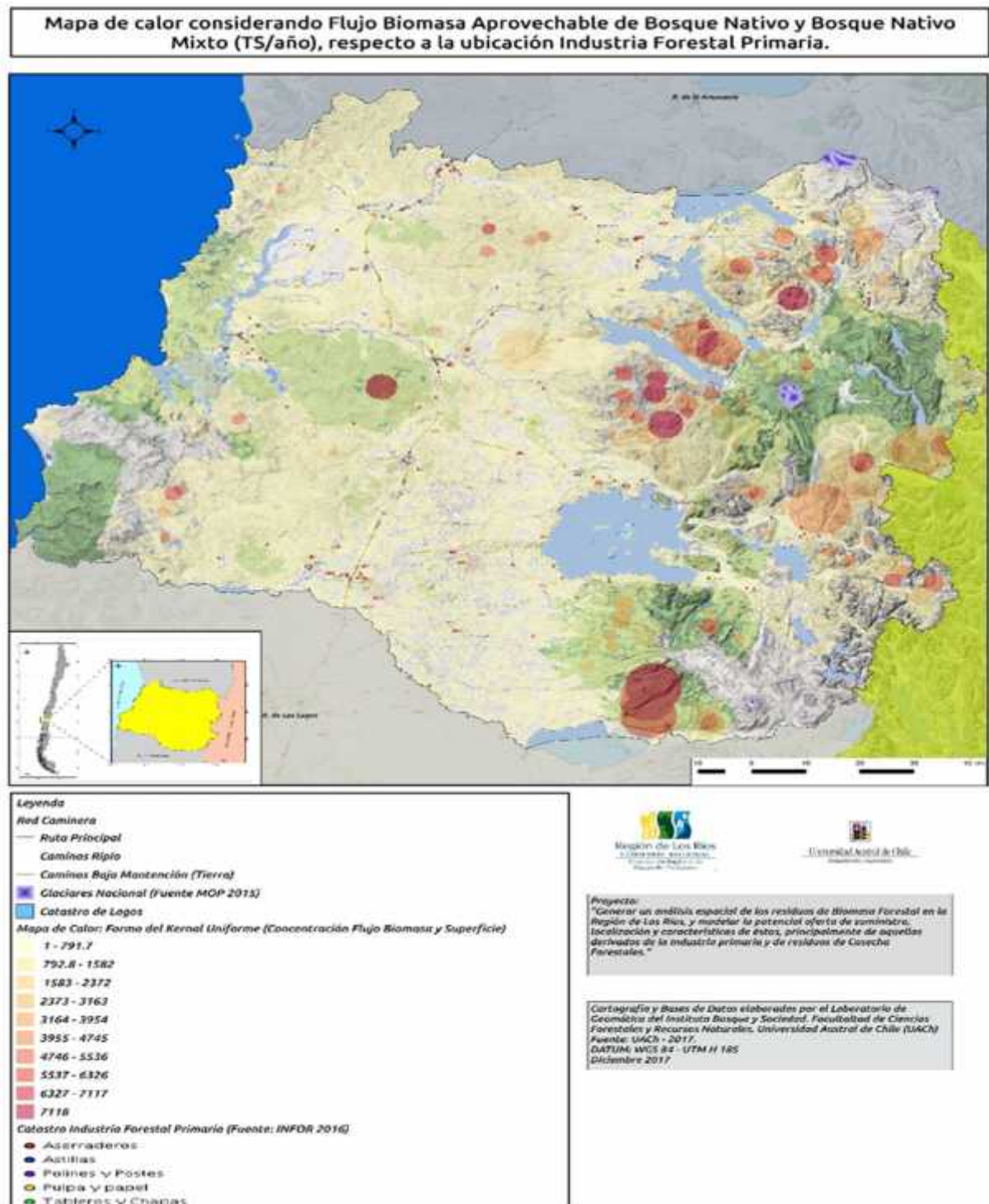


Figura 26 Flujo de biomasa aprovechable de BN y plantaciones exóticas (Forestal, 2018)

#### **6.4.5 Análisis de Costos para Abastecimiento de Biomasa a Plantas de Energía**

El estudio determina los costos de abastecimiento de biomasa para potenciales localizaciones de centros de demanda, los que comprenden tanto el costo de producción como de transporte desde cada oferta disponible hasta el destino final. Luego los costos de abastecimiento se agregan de tal forma de determinar cuáles son las ofertas más convenientes, la curva de costos marginales y medios para distintos niveles de demanda.

##### **6.4.5.1 Costos de Producción**

Los costos de producción se estiman de forma diferenciada según sea proveniente de BN, de residuos de plantaciones o de procesos de transformación de la madera. En todos ellos hay un valor mínimo pretendido por el propietario que cubre al menos los costos de sus procesos productivos.

##### **6.4.5.2 Situación BN**

No hay ejemplos de obtención de residuos de procesos de cosecha de BN, por lo que los costos se asimilaron a la producción formal de leña. Se descartaron ejemplos de producción informal, que ocultan los costos de seguridad social, impositiva o incumplimiento de normas de manejo forestal. En este estado de avance no fue posible determinar el costo desagregado por etapas del proceso productivo y por lo tanto se asimiló al valor de transferencia o precio de venta de leña de roble a orillas de camino en predio de los propietarios.

El costo de producción no incluye el proceso de astillado. Para este estudio se asignó un costo de USD 77,10 TS equivalente a USD 43,95m<sup>3</sup>s o USD 28,13 m<sup>3</sup>est.

##### **6.4.5.3 Situación Residuos de Plantaciones Forestales.**

No hay registro público de precios de la biomasa transada en la región para fines energéticos por lo que el precio se aproxima a los costos que utiliza la industria forestal en sus procesos de preparación del sitio para reforestar, esto es las horas máquina requeridas para apilar los desechos y llevarlos hasta orilla de camino.

No se considera en este estudio el aprovechamiento de biomasa radical, raíces. Para los residuos de plantaciones se ha incluido el proceso de astillado, a pesar de que queda restringido a unidades de cosecha de más de 25 ha y la existencia de caminos que soporten el paso de camiones astilladores. El valor de transferencia observado alcanza los USD 28,13 TS (Forestal, 2018).



#### 6.4.5.4 Situación Desechos de Procesos de Manufactura

Los desechos de procesos de transformación de la madera alcanzan muchas veces al 50% de la madera procesada que incluye lampazos, aserrín y despuntes. Sin embargo, hoy muchos de estos son reutilizados ya sean como fuente de energía, como calor, para autoconsumo, insumos de otros procesos productivos o fabricación de biocombustibles sólidos como briquetas y también como venta de leña.

Para efectos de estimar el precio de esta biomasa se tiene en consideración transacciones realizadas en otras regiones, cuyo precio determinado por el mercado para aserrín, lampazos y virutas fluctúa entre USD 26 TS y USD 35 TS (Forestal, 2018).

#### 6.4.5.5 Costos de Transporte de Biomasa

El costo de transporte varía además de la distancia, tipo de carpeta y condiciones del camino, del tipo, rollo o astillado y condiciones, contenido de humedad, del producto que se transporta. No obstante, la consideración del tipo de producto, para este estudio se ha estandarizado en una sola función de transporte que incorpora el estándar de camino (Forestal, 2018).

El cálculo del costo de transporte se ajusta además por el contenido de humedad de la madera que en este caso consideró 50% de contenido de humedad en base peso seco.

$$C (U / T ) = 3.0851 + 0.1095 * D + 0.1313 * D + 0.1861 * D$$

Ecuación 1 Costos de transporte

Donde: CT es el costo de transporte en USD/TS, DP es la distancia pavimento, DR es la distancia camino público ripio y DT es la distancia camino predial, ripio o tierra, de baja velocidad con pendientes y curvas.

Para efectos de este estudio se optimizó la ruta desde cada oferta a destino, utilizando análisis de redes que minimiza el costo variable de transporte. En una fase siguiente se optimizará para diferentes destinos. Además, la conexión de los polígonos de oferta de biomasa de BN con la red existente de caminos generó costos fijos por caminos nuevos en el caso que los centros de gravedad de los polígonos estuviesen a más de 1.000 m del camino existente. Se asignó un valor de USD 30.000/km al estándar de camino predial nuevo incorporado.

#### 6.4.5.6 Curva de Costos Marginales

Para facilitar el análisis comparativo del costo de abastecimiento para diferentes localizaciones y tipos de plantas de generación, se construye una curva de costos marginales para todas las localizaciones

posibles. Esta curva resume la relación entre el costo de abastecimiento para un destino específico y la cantidad demandada, permitiendo determinar el costo marginal y medio. El análisis además permite identificar a los productores por nivel de costo o radio de abastecimiento.

## **6.5 Análisis y Estimación de la Caracterización de la Oferta de Biomasa para la Región**

Para el análisis y estimación de la caracterización de la oferta de biomasa en la región de Los Ríos, se ha procedido a considerar información respecto a instalaciones de proceso, aprovechamiento y/o conversión energética de dicha biomasa y un análisis de plantas produciendo biocombustibles a partir de biomasa que están en servicio; se ha incluido también plantas en fase de proyecto. Por último, un modelamiento de diversas alternativas considerando zonas óptimas y claves de abastecimiento de biomasa se ha incluido lo que permite evaluar proyectos de aprovechamiento y/o conversión energética.

De acuerdo con la Asociación Chilena de Energías Renovables, ACERA, el aporte energético de la biomasa, a través de las empresas forestales a la matriz nacional alcanza un significativo 3% por la diversificación que representa del resto de las fuentes energéticas, lo que ayuda a reducir los riesgos de abastecimiento eléctrico (ACERA, 2017). Las ventajas de disponibilidad de la biomasa forestal la ayudan a posicionarse representativamente en un 2% del total de la capacidad de ERNC a nivel nacional, sin embargo, muy por debajo de las fuentes solares y eólicas. Las ventajas de este recurso se traducen en poder disponer de él durante todo el año lo que permite eliminar la intermitencia que las otras fuentes presentan.

Cuando se analiza que la biomasa forestal está asociada a la operación de empresas de este rubro, sus ventajas adquieren más significado ya que representan la capacidad de las industrias de autoabastecerse energéticamente, aunque este autoabastecimiento dependa de las capacidades en cuanto a tamaño y requerimientos de servicio, como por ejemplo la producción de celulosa, que requiere un alto consumo energético.

En el año 2014, un estudio realizado por el Ministerio de Energía, la CONAF, y la UACH, logro cuantificar que, entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos, existe un potencial de instalación de 2.129 MW gracias a la superficie potencialmente aprovechable con fines energéticos en base a biomasa (LIGNUM, 2017).

La Figura 27 muestra la diversificación de las centrales de bioenergía forestal ya instaladas entre las regiones de O'Higgins y de Los Ríos, en donde la materia prima usada corresponde a biomasa forestal

pero también considerando el uso de biomasa vegetal; siendo la biomasa forestal los residuos de las propias industrias forestales.



Figura 27 Potencia instalada en centrales de bioenergía forestal (LIGNUM, 2017)

### 6.5.1 Instalaciones de Proceso, Aprovechamiento/Conversión Energética de Biomasa

Al conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza se le denomina biomasa y desde el punto de vista energético, se le denomina una fuente de energía renovable basado en el uso de su materia orgánica en diferentes estados.

Se le considera renovable por su contenido energético cuya denominación se consideran biocombustibles, los cuales pueden ser sólidos, tales como astillas, aserrín, pellets, briquetas, cortezas, lampazos, aclareos forestales, leña y carbón, líquidos tales como bioetanol y el biodiesel y gaseosos tales como biogás e hidrogeno dependiendo del requerimiento para sus posteriores usos (Loaiza Navarro, 2015).

De acuerdo con la Comisión Nacional de Energía, 3 proyectos de ERNC en base a biomasa están desarrollados, uno de estos proyectos ya en operación aportando 463 MW al SIC y dos proyectos con Resolución de Calificación Ambiental, RCA, aprobada que debieran aportar 469 MW al SIC una vez

en operación (Comisión Nacional de Energía, 2017). La capacidad instalada respecto a ERNC, en base a biomasa corresponde a un 2% del total nacional.

Respecto a su uso como biocombustible, dos son las aplicaciones más recurrentes de la biomasa: aplicaciones térmicas y producción de electricidad. En este sentido:

- ) Aplicaciones térmicas se refiere principalmente a la generación de calor ya sea para uso como calefacción por medio de estufas y calderas y para su uso como medio de calefacción para Agua Caliente Sanitaria, ACS. En el caso de las calderas, en calor en forma de vapor. En ambos casos, considerando aplicaciones domesticas individuales como también aplicaciones domesticas en red; estas últimas aplicaciones, conocidas como calefacción distrital. Otra aplicación térmica incluye el propio uso de la biomasa forestal como energético en los procesos industriales de las forestales que incluye calefacción, agua caliente industrial y la producción de celulosa.
- ) Aplicaciones para la producción de electricidad incluyen el uso de las aplicaciones térmicas, específicamente de calderas, cuyo calor generado en forma de vapor es usado como medio de accionamiento de turbinas que acopladas a un generador producen energía eléctrica. El uso de esta electricidad es mayoritariamente para el uso de las propias industrias forestales, pero también en cierta medida, como fue presentado anteriormente, para abastecer al SIC.

La combinación de aplicaciones térmicas y eléctricas se conoce como cogeneración siendo esta combinación muy común en las grandes industrias forestales.

La Figura 28 presenta el diagrama de valorización de la biomasa forestal para sus posibles usos, desde su preparación, transformación a combustible procesado hasta su uso, mediante determinados procesos de transformación. La valorización energética de la biomasa se presenta considerando las opciones más comunes de desarrollo consideradas en este estudio.

Figura 28 Potenciales usos energéticos de la biomasa forestal (FCI, 2018)

- ) Preparación: Acopio de la biomasa forestal y su preparación, a través de secado, limpieza y tratamiento mecánico básico tales como chipecado y/o astillado, que permite disponer de este energético primario en condiciones de poder ser utilizado en el proceso de transformación seleccionado.
- ) Transformación: la transformación incluye procesos mecánicos tales como la pelletización y/o briquetado, comúnmente denominado procesos de densificación de biomasa, también incluye procesos termoquímicos, para transformar el energético primario que permite su valorización.
- ) Valorización Energética: a partir del energético primario, se genera el energético secundario como resultado de los procesos anteriores, que permite obtener un formato de energía útil, con valor agregado, para procesos industriales o domiciliarios.

A continuación, se resumen las distintas tecnologías de conversión asociadas a procesos termoquímicos de transformación de biomasa forestal, de los cuales se puede obtener tres tipos de biocombustibles; sólidos, líquidos y gaseosos:

- ) Combustión directa.
- ) Pirólisis.
- ) Gasificación.

El proceso de combustión directa permite la obtención de calor y vapor, el proceso de pirólisis permite la obtención de carbón vegetal, gas pobre, gas rico y líquidos piroleñosos, el proceso de gasificación permite obtener gas pobre y gas rico y el proceso de licuefacción permite la obtención de biocombustibles líquidos.

La generación de biomasa forestal conlleva una serie de procesos de pretratamiento y transformaciones para poder ser aprovechada energéticamente en forma eficiente (Agencia Extremeña de la Energía, 2008).

El proceso de conversión de la biomasa forestal para su uso en la generación de energía considera cinco fases. Estas fases están englobadas en un proyecto que requiere considerar sus costos.

- ) Recolección de la biomasa: fase en que la biomasa forestal, dependiendo de la localización, considerando el acopio al punto de recolección, triturado, transporte a planta y el almacenamiento que es un proceso de conexión con la fase 2.
- ) Preparación de la biomasa. Fase en la cual se acondiciona la biomasa forestal para mejorar su valorización como biocombustible, esta fase considera la reducción de la granulometría, reducción de la humedad y la limpieza que es un proceso de conexión con la fase 3.
- ) Generación de energía. Fase en que los procesos termoquímicos presentados previamente transforman la biomasa forestal en energéticos. Los procesos termoquímicos son los procesos de conexión con la fase 4.
- ) Valorización de la energía. Fase en que a partir de la biomasa forestal se obtiene un energético secundario que es valorizado de acuerdo con sus posibles usos, la generación de biocombustibles sólidos, vapor y electricidad son la conexión con la fase 5.
- ) Distribución de la energía. Fase en la cual el energético es distribuido de acuerdo con su valorización, tales como electricidad a los SIC y SING y procesos industriales tales como plantas de celulosa.

Considerando los procesos de conversión de biomasa forestal descritos previamente, se presentan dos de los más comunes biocombustibles sólidos generados a partir de esta; pellet y briquetas. Se presentan como una referencia cuando se evaluó la actual oferta/demanda del mercado regional por biocombustibles sólidos.

- ) El pellet es un biocombustible sólido comprimido y generado a partir de un proceso de densificación y molienda de biomasa. El proceso, conocido como pelletización, es un proceso

que requiere de maquinaria cuyas capacidades y tamaño dependerá de la evaluación de la demanda y de la biomasa disponible.

- J La briqueta es un biocombustible sólido comprimido, generado a partir de un proceso de producción muy similar al pellet, pero en el que se aplica una presión que aumenta la temperatura del material vegetal hasta alcanzar una temperatura entre 100°C a 150°C con lo que se logra plastificar la lignina, permitiendo la formación de las briquetas. Las dimensiones del producto son mayores a las del pellet, con longitudes entre 15 cm – 50 cm y diámetros de entre 3 cm – 20 cm.

El pellet y la briqueta son dos de los biocombustibles sólidos más demandados últimamente a nivel residencial, sin embargo, a nivel industrial no presentan un gran consumo por el valor agregado que conlleva su producción. La consideración de producir estos biocombustibles se presenta como la mejor opción para aquellas industrias, tales como aserraderos de menor tamaño en donde la cantidad de biomasa forestal residual no es la suficiente para pensar, por ejemplo, en la implementación de plantas de cogeneración.

#### **6.5.2 Plantas de Biomasa Existentes o en Fase de Proyecto**

Para este informe se han seleccionado tres casos de plantas usando biomasa forestal y son presentados a continuación.

##### **6.5.2.1 Caso 1: Universidad Austral de Chile**

La UACH suscribió un Acuerdo de Producción Limpia, APL, firmado en abril del 2017 (UACH, 2017), el cual se traduce en un compromiso institucional, entre otros aspectos, con el uso eficiente del recurso energético y la reducción de la huella de carbono. En este contexto y considerando que dentro de los compromisos del APL están los relativos a diseño curricular, se ha estado desarrollando diversos anteproyectos de fin de carrera relacionados con el potencial uso de la biomasa para sus sistemas de calefacción y/o mejoramiento de los sistemas existentes en base a biomasa:

- J Estudio técnico-económico para un proyecto integrado de climatización en base a biomasa en el Campus Miraflores de la UACH (Cofré Guerrero, 2014).
- J Optimización del uso de la biomasa ubicada en gimnasio del Campus Teja de la UACH (Harris Vargas, 2014).
- J Anteproyecto sistema de calefacción distrital en base a biomasa para la UACH, INFOR e Instituto de Investigación Agropecuarias, INIA, en Coyhaique, XI Región de Aysén (Mansilla Chiguay, 2017).



Por otro lado, la UACH a través de la Dirección de Servicios ha tomado la iniciativa desde 2015, de evaluar con una empresa consultora externa un proyecto de calefacción distrital para el Campus Teja. Se contempla un sistema distrital para una superficie aproximada de 15.000 m<sup>2</sup> a calefaccionar, la Figura 29 muestra en amarillo el sector a considerar por el proyecto.

Se contempla una red de calefacción bajo tierra, de aproximadamente 750 m de extensión para abastecer entre 15 a 20 puntos de consumo. La temperatura de operación es 80°C en la caldera y se estima en 75°C la temperatura en los puntos de consumo. Considerando el tipo de consumo de la UACH y que una parte de la energía es almacenada en estanques de inercia, se contempla en el estudio de factibilidad una demanda alta de 1.044 kW.



Figura 29 Sector Campus Teja UACH para sistema de calefacción distrital (UACH, 2015)

El estudio concluye con una central distrital de una capacidad de 1.100 kW, los cuales serían cubiertos con una caldera de biomasa de 600 kW, un estanque de inercia de 40 m<sup>3</sup> y una caldera auxiliar de 500 kW. Se estima en 500 ton/año el consumo de combustible, astillas de proveedores externos a la UACH, con una humedad de 35%, lo cual representa un ahorro de 16% respecto de un sistema en base a calderas individuales con combustible en formato tipo leña certificada. El silo de almacenamiento se considera de 100 m<sup>3</sup> como mínimo para una autonomía de 1 semana. Las emisiones de este proyecto, según la empresa asesora de este proyecto alcanzan los 50 kg/año.

El monto de la inversión inicial fue estimado en USD 700.000 y el costo anual del proyecto es de USD 90.000 para 25 años de duración de vida útil del proyecto.



De acuerdo con antecedentes presentados en la Jornada de Trabajo efectuada el 30 de noviembre de 2017, en el contexto de este proyecto, la UACH contrata una segunda asesoría externa con la AChBiom con el fin de actualizar la evaluación preliminar del año 2015, el Anexo 4 – Jornada de Trabajo 30 de Noviembre 2017 presenta más detalles de los antecedentes mencionados.

Se menciona que durante la realización del proyecto la UACH pasa a ser cliente libre con lo cual los costos por consumo eléctrico se reducen de \$120/kWh a \$78/kWh y se comprueba que las horas de uso del sistema actual eléctrico son menores a lo esperado. De todos modos, el proyecto de calefacción a biomasa sigue siendo rentable; no sucede lo mismo con el proyecto de cogeneración, que es una de las opciones evaluadas.

La UACH, siguiendo la línea de desarrollo de sustentabilidad, ha tomado la iniciativa en el Campus Miraflores de desarrollar un anteproyecto de planta de cogeneración de menor tamaño para abastecer no sólo al campus, sino que también a zonas aledañas que incluye, un hospital, colegios y una población.

La tecnología evaluada corresponde a una planta de cogeneración basada en el ciclo orgánico de Rankine para controlar la generación de vapor y posterior electricidad considerando el menor tamaño y los niveles de eficiencia que se requieren para este tipo de plantas, cuya capacidad máxima sería de 1 MW. La producción de vapor considera establecer un sistema de calefacción distrital para los establecimientos considerados dentro de este anteproyecto en desarrollo (UACH, 2015).

#### **6.5.2.2 Caso 2: Planta de Cogeneración Bioenergía de Los Ríos**

Este proyecto de cogeneración es considerado un proyecto de ERNC ya que usaría biomasa forestal no tratada como el combustible primario para su operación. La potencia estimada de la planta de este proyecto es de aproximadamente 9 MW. Como pilar fundamental de este proyecto se establece la necesidad de continuar diversificando la matriz energética nacional que como se comentó previamente, está siendo influenciada fuertemente por fuentes de ERNC y así lograr reducir el consumo de combustibles fósiles y la posterior generación y emisión de GEI (Bioenergía de Los Ríos S.A., 2015).

En la Declaración de Impacto Ambiental, DIA, de la Planta de Cogeneración Bioenergía de Los Ríos se señala que la planta considera equipos convencionales para la generación de vapor para el posterior uso de éste para calefacción y la generación de electricidad. Una particularidad de la planta es la inclusión de un sistema de abatimiento de emisiones, el que se especificará posteriormente. Una parte

del vapor que trabaja en la turbina se usa para calefacción interna de la planta y otra parte para calefacción a terceros.

La generación eléctrica de la planta considera que el 90% de ésta será inyectada al SIC mediante una conexión del tipo Tap Off<sup>6</sup> a línea eléctrica de media tensión de 23 kV. Debido a la potencia generada por la planta y siguiendo los lineamientos de la normativa nacional, este proyecto sólo considera una DIA, y no un Estudio de Impacto Ambiental, EIA.

La vida útil de la planta ha sido estimada en 30 años prolongable de acuerdo con los criterios de mantención y a posibles futuras implementaciones y actualizaciones de tecnologías. La construcción de la planta llevaría aproximadamente 16 meses.

La localización de la planta se puede apreciar como un factor preponderante en la DIA, ya que se considera su emplazamiento en una zona rural de la ciudad de Valdivia, pero muy cercana a emplazamientos urbanos lo que conlleva a un número significativo de consideraciones respecto al impacto de la planta a los alrededores pero siempre dentro del Plan Regulador Comunal, PRC, de Valdivia tales como caminos de acceso y flujo vehicular adyacente a la planta que incluye el transporte de biomasa a la planta. El emplazamiento de la planta considera una superficie de aproximadamente 3 ha.

Las capacidades de la planta fueron mencionadas previamente, por lo que en este punto se ahondará en el detalle de éstas para cuantificación y entendimiento. Para la generación de vapor se usará biomasa forestal residual almacenada en un silo edificio desde el cual alimentará, vía correas transportadoras, a la parrilla reciprocante de la caldera acuotubular que generará una capacidad de 65 ton/h de vapor sobrecalentado a 64 bar y 480°C, el cual alimentará una turbina, la cual conectada a un generador producirá una capacidad máxima de 10 MW. El vapor, después de trabajar en la turbina continuará a un proceso de condensación para su reutilización en el proceso de la planta, pero antes se extraerá una cantidad de 34.4 ton/h a 23 bar para los procesos de calefacción propia de la planta y para terceros.

La caldera considera un sistema de alimentación/ventilación forzada de aire que permite controlar parcialmente la generación de GEI. Los gases de exhaustación de la caldera, después de trabajar en el sobrecalentador de la planta, son direccionados a un sistema de tratamiento de gases, que incluye multiciclones y filtro de manga para la eliminación principalmente de material particulado. Estos

---

<sup>6</sup> Tap Off: tipo de conexión eléctrica para controlar voltaje antes de inyección de energía al SIC.

materiales particulados junto con la ceniza resultante del proceso de combustión de la biomasa en la caldera serán almacenados para su posterior disposición final.

El consumo de biomasa de la caldera es de 99 m<sup>3</sup>/h por lo que el Silo Edificio de almacenamiento fue contemplado con una capacidad de 5.000 m<sup>3</sup>.

Considerando el poder calorífico inferior de la biomasa, la eficiencia de la caldera es de aproximadamente un 85%. Aun cuando el combustible de servicio de la caldera es biomasa forestal residual, se ha considerado el uso de liquified petroleum gas, LPG, para la partida de la caldera y sólo para ese propósito, por lo que el estanque de LPG sólo tiene una capacidad de 5 m<sup>3</sup>.

Una consideración respecto al tratamiento y disposición de riles muestra cómo se tratará el agua residual de la planta a través de un estanque de ecualización que incluye una regulación de pH y de temperatura del agua para su posterior disposición final en el río Calle-Calle de acuerdo con la normativa nacional de control de riles. Un caudal aproximado de 25 m<sup>3</sup>/h ha sido calculado como el máximo cuando la planta está bajo régimen máximo de operación.

#### **6.5.2.3 Caso 3: Planta Celulosa Arauco y Constitución S.A.**

Para obtener información de la planta de cogeneración de Planta Celulosa Arauco y Constitución se procedió a revisar su estudio de impacto ambiental (Celulosa Arauco y Constitución S.A., 1997). Dicho estudio entrega cierta información técnica que ha permitido trazar delineamientos generales para ser contrastados con las realidades de los proyectos de menor escala presentados previamente como Caso 1 y Caso 2.

Si bien el estudio de impacto ambiental cubre todos los aspectos productivos de la planta, presenta detalles técnicos que permiten entender y cuantificar el impacto que conlleva el uso de biomasa forestal residual cuando se dispone tan abiertamente como es el caso de la Planta Celulosa.

Dentro del informe, en la etapa de operación, la planta considera energía como un punto medular en donde se considera la autosuficiencia eléctrica del proceso productivo en donde turbogeneradores aprovechan el vapor de la planta para generar potencia eléctrica a inyectar al SIC entre los 27 MW y 46 MW después que se extrae lo necesario para los procesos de la planta.

Una caldera recuperadora a alta presión, 75 bar, y alta temperatura, 480°C, se encarga de la generación de vapor, dicha caldera usa combustible a partir de una recuperación química del proceso industrial de la celulosa, el combustible generado es licor negro, que es un combustible proveniente de la etapa de cocción, sin embargo, los residuos forestales también son usados, pero en una caldera de poder. Los

desechos de la combustión en la caldera recuperadora son recuperados para ser usados en procesos posteriores de cocción.

La caldera de poder, como se mencionó previamente, usa residuos forestales como biocombustible, mayoritariamente corteza. Las capacidades de la caldera de poder son similares a la caldera recuperadora. Cabe señalar que el vapor generado en ambas calderas es usado para el proceso de generación eléctrica.

Si bien los combustibles primarios de las calderas son productos del proceso productivo de celulosa, el petróleo diésel también será usado, pero solamente como combustible auxiliar para la puesta en marcha y puesta fuera de servicio de las calderas. Se menciona también que se consumirá este combustible auxiliar en un incinerador de Gases No Condensables, GNC, el uso del combustible alternativo asegura la combustión y el control de procesos del incinerador.

En cuanto al vapor generado por las calderas, se puede mencionar que a partir del licor negro se generan 3.6 millones ton de vapor por año, con un valor calorífico de 12 millones de GJ de energía. A partir de los desechos forestales se generan 0.8 millones ton de vapor por año.

La planta consume alrededor de 52 MW y considerando la materia prima de la misma, que puede ser *PR* o *Eucalyptus sp.*, los turbogeneradores producen a partir de los biocombustibles entre 79 MW y 97 MW.

El dióxido de azufre,  $\text{SO}_2$ , y óxidos de nitrógeno,  $\text{NO}_x$ , son emisiones generadas inherentemente a partir de la combustión y la planta reduce, específicamente el  $\text{SO}_2$ , usando un scrubber que lava los gases de exhaustación generando un aproximado de 3.04 ton/día. Las emisiones de  $\text{NO}_x$  alcanzan las 4.69 ton/día. Para el caso de material particulado, precipitadores electrostáticos son los equipos usados para colectarlos, se estiman 2.24 ton/día de estas emisiones generadas por la planta. Estos valores permiten dar cumplimiento a la normativa nacional de calidad ambiental vigentes en Chile (Celulosa Arauco y Constitución S.A., 1997).

El caso de la UACH es interesante de considerar en la Segunda Etapa de este proyecto dado que el proyecto de calefacción distrital para el Campus Teja presenta dos anteproyectos y sus resultados se muestran atractivos desde el punto de vista económico; por su parte, en el Campus Miraflores existe una iniciativa preliminar que de acuerdo a los antecedentes recabados en la FCI, debiera pasar a una etapa de definición acerca de si será una central de cogeneración involucrando otros actores externos o bien culmina en un proyecto de calefacción distrital.

En el caso del proyecto de Cogeneración ubicado en Las Ánimas de la ciudad de Valdivia, se conocen todos los antecedentes técnicos del proyecto, el cual además cuenta con un informe de impacto ambiental; actualmente se encuentra en etapa de estudio de su financiamiento.

El caso de la central de cogeneración de la empresa Celulosa Arauco y Constitución S.A. se presenta como el más relevante en la región, con resultados exitosos al igual que los mostrados en la Tabla 18. Por el monto de inversión y potencia de la central, pudiera ser considerado como un modelo a replicar, con ajustes mayores o menores, para otras empresas de gran tamaño en la región.

	<b>Caso 1: UACH</b>	<b>Caso 2: Planta de Cogeneración Bioenergía de Los Ríos</b>	<b>Caso 3: Planta Celulosa Arauco y Constitución S.A.</b>
<b>Etapas de Ejecución</b>	En diseño.	Diseñado, aprobado y no ejecutado.	Diseñado, aprobado e implementado.
<b>Lugar de Ubicación</b>	Isla Teja – Valdivia.	Las Animas -Valdivia.	Mariquina.
<b>Tipo de Energía</b>	Vapor	Vapor Electricidad.	Vapor Electricidad.
<b>Tamaño</b>	1.1 MW	10 MW	79 MW – 97 MW
<b>Fechas</b>	2015	2015	1997
<b>Monto de la Inversión</b>	USD 700.000	USD 38.000.000	USD 189.000.000
<b>Tipo de Tecnología</b>	Central Distrital	Planta Cogeneración	Planta Cogeneración
<b>Fuente de Abastecimiento</b>	Proveedores Externos	Residuos Forestales Propios y de Externos	Residuos Forestales Propios y de Externos.
<b>Tipo de Combustible</b>	Biomasa Forestal Petróleo Diésel	Biomasa Forestal	Biomasa Forestal Biocombustible Petróleo diésel
<b>Consumo</b>	500 ton/año	99 m <sup>3</sup> /h	S/I
<b>Producción</b>	Vapor	Vapor Electricidad.	Vapor Electricidad.

Tabla 18 Resumen casos estudiados región de Los Ríos (FCI, 2018)

## 7. Conclusiones

1. Se puede observar un marco normativo disperso, no obstante, con fuerte enfoque en potenciar la sustentabilidad y la incorporación de las ERNC en la matriz energética.
2. Además existe una oferta interesante de apoyos públicos y subvenciones para el desarrollo de iniciativas relacionadas con las ERNC. Entre estas destacan: subsidios, garantías, créditos y beneficios tributarios.
3. La región de Los Ríos presenta una alta disponibilidad potencial de biomasa forestal para proyectos de bioenergía, basado principalmente en la alta disponibilidad del recurso forestal, con una superficie total de aproximadamente **1.095.414 ha**, de éstas:

**a. BN, aproximadamente 908.531 ha.**

**b. Plantaciones, aproximadamente 186.883 ha.**

4. En base al análisis de restricciones de tipo legal, ambiental y consideraciones socioculturales se determinó que la superficie neta de **BN con factibilidad de uso para la producción de biomasa para proyectos de bioenergía es de 509.397 ha y para el caso de plantaciones, la superficie neta aprovechable es de 169.569 ha.**

5. De acuerdo con lo anterior, la biomasa potencialmente disponible proviene de tres fuentes principales, en orden de importancia: BN, residuos de plantaciones y residuos de la industria forestal:

a. Se estima un flujo potencial de biomasa forestal a partir de BN de 1.892.260 TS/año, donde destacan los renovales con 968.137 TS/año, lo que representa el 51,2%, del flujo total anual. Dentro de estos, destaca el tipo forestal Roble – Raulí – Coihue y el subtipo Roble, los cuales representan el 58,2% o 563.722 TS/año del flujo potencial de biomasa que aportan los renovales.

b. En total se estima que la región presenta un flujo potencial de biomasa forestal, a partir de plantaciones exóticas, de 425.820,2 TS/año. Lo anterior se desagrega en: Pymes, con un total de 102.189,6 TS/año; grandes empresas, con un total de 217.720,1 TS/año; Detectada en el monitoreo año 2017 y no incluida en Pymes y grandes empresas, un total de 105.910,5 TS/año.

c. La disponibilidad potencial de residuos forestales de la industria primaria forestal, se estima en 267.300 TS/año, para la región de Los Ríos. De este total se estima que 142,500 TS/año corresponde a la gran empresa destinada al autoconsumo, mientras que el restante 124,830 TS/año corresponde a Pymes.

6. El mayor flujo potencial de biomasa en la región de Los Ríos se encuentra en el BN, con un 73% del flujo total regional, principalmente renovales del tipo forestal Roble – Raulí – Coihue ubicados en la precordillera. La mayor dificultad que presenta esta fuente potencial de biomasa corresponde a la atomización de los rodales y su dispersión respecto de los centros de consumo. Esta condición provoca que esta biomasa se presente como una alternativa menos competitiva respecto de la biomasa proveniente de residuos de plantaciones y de residuos de la industria del aserrío. Sin embargo, un escenario de aumento en la demanda a nivel regional por biomasa podría incentivar la utilización de residuos del BN, dado que el 51% de los residuos de plantaciones se encuentra en el patrimonio de la gran empresa, quienes lo destinan para autoconsumo. Caso similar ocurre en la industria del aserrío, que incorpora parte de sus residuos para usos secundarios.

7. En esta región, la mayor parte de los residuos de cosecha de plantaciones están en manos de las empresas forestales con un 83,5%, es decir sólo el 16,5% tiene más posibilidades de constituir oferta efectiva para nuevas plantas de energía.

8. Una restricción importante la constituye la fragmentación de las superficies, ya que superficies pequeñas limitan la posibilidad de un aprovechamiento mecanizado y el traslado de astilladores a predio. Estudios anteriores han estimado que la superficie mínima para un aprovechamiento mecanizado y económico de la cosecha, traslado de maquinaria, requiere al menos de 25 ha (Forestal, 2018).



## Segundo Informe de Avance

### Introducción

Hoy en día la búsqueda de tecnologías que posean un impacto ambiental positivo, iniciada en los países más industrializados, es fomentada mediante el apoyo financiero a la investigación científico-tecnológica y a través de proyectos de desarrollo e innovación tecnológica. Una de las áreas en las que se realiza investigaciones, con alto grado de desarrollo en algunos casos, es la de las energías renovables; entre éstas se encuentran aquéllas provenientes de la biomasa; en particular, los residuos de procesos de explotación forestal y elaboración de productos de la madera, como así también de los cultivos agrícolas.

A nivel nacional, los residuos forestales y madereros han representado un extraordinario recurso energético para las empresas de este rubro industrial y también para las comunidades que existen en los alrededores de las empresas de explotación y elaboración de la madera. No obstante, desde los inicios de la Revolución Industrial hasta los años 60', la opción de utilizar combustibles tradicionales, que eran baratos y abundantes, seguía siendo la más atractiva, especialmente para los países más desarrollados. Incluso en los años 80' todavía esta fuente renovable de recursos energéticos no llegó a ser competitiva frente a las fuentes convencionales. Hoy existe una clara convicción respecto de la necesidad de darle un uso racional al recurso energía, por lo que, el interés por desarrollar estudios sobre recursos energéticos renovables se incrementará en los próximos años y en el caso de los biocombustibles o combustibles derivados de la biomasa, habrá un campo importante para la investigación aplicada. En Chile, al igual como se ha estado haciendo en países más desarrollados, deberá buscarse procedimientos tecnológicamente viables y económicamente atractivos para utilizar los desechos derivados de la biomasa residual procedente de la actividad agrícola y forestal.

Las alternativas de aprovechamiento de estos recursos no son exclusivamente energéticas; van desde las menos atractivas desde el punto de vista del valor agregado, como lo es la exportación de ellos hasta otras más interesantes como, por ejemplo, la combustión o la gasificación con fines de

generación de energía térmica y/o eléctrica, o bien la opción de fabricación de productos fertilizantes. Los procesos de pelletización de residuos pueden ser también una alternativa importante ya que la baja densidad de éstos, unida a los bajos poderes caloríficos y en algunos casos alta humedad, conduce a elevados volúmenes de combustible a manipular en procesos de combustión. En procesos industriales la reutilización de los residuos para su transformación en subproductos de mayor valor agregado, además, debe ser vista como una actividad que además de ser rentable tiene claros beneficios ambientales.

Para la ingeniería y el diseño de nuevos equipos, sin duda alguna, habrá grandes desafíos en esta disciplina en el futuro cercano.

En este segundo informe se dan a conocer los resultados que se han alcanzado a la fecha, al realizar un análisis y evaluación técnico-económico de diversas alternativas para la valorización energética de residuos, ya sea mediante generación térmica, cogeneración eléctrica y/o transformación mecánica.

Diversas visitas a terreno se realizaron a las empresas forestales asociadas a los proyectos desarrollados y han quedado registradas en el Anexo 9 – Visitas a Terreno.

## 8. Análisis Encuesta Industria Primaria

El propósito de la encuesta a la industria primaria de la madera en la región de los Ríos tiene como propósito poder conocer la realidad de la industria en torno a cómo aprovechan o no los residuos de sus procesos industriales y el estado de las tecnologías que usan ya sea para sus procesos productivos como también para reutilizar sus desechos. A continuación, se presentan los aspectos fundamentales incluidos en la encuesta.

### 8.1 Elaboración y Aplicación

La elaboración de la encuesta primaria a la industria de la madera en la región de Los Ríos se realizó en base a las necesidades del estudio aplicando los distintos aspectos necesarios a evaluar y propuestos dentro de los entregables del estudio que incluye por ejemplo un catastro de las capacidades productivas y las cantidades de desechos que la industria genera, tecnologías asociadas que usan biomasa forestal incluyendo las características de capacidades y operación. La encuesta es presentada en Anexo 5 – Encuesta Industria Primaria y fue aplicada considerando un universo muestral de 130 empresas de la industria maderera regional catastrada por el Instituto Forestal, INFOR, para el año 2017 (INFOR, 2017).

La aplicación de la encuesta se efectuó entre los meses de octubre del 2017 y enero del 2018, lográndose aplicar a 25 empresas de la industria maderera regional. El listado de estas empresas es presentado en Anexo 6 – Identificación de Industria Primaria Región de Los Ríos Encuestada. Estas empresas corresponden al 20% del total catastrado. La aplicación se dispuso no solo en formato físico, sino que también vía web, vía telefónica, visitas a terreno y a través de correo electrónico.

### 8.2 Validación y Tabulación

El proceso de validación de la encuesta incluyó un proceso de preselección de un grupo empresas de la Asociación Gremial de Pequeñas y Medianas Empresas Madereras, Pymemad A.G., de la región de Los Ríos. El propósito fue lograr consensuar la encuesta, incorporándose nueva información relevante para ser encuestada posteriormente lográndose un proceso de validación acorde a las necesidades de la industria primaria de la madera. Para corroborar aún más el proceso de validación, la encuesta fue presentada a la Corporación Regional de Desarrollo Productivo de Los Ríos, CRDP, contraparte

técnica del estudio con lo cual se logró validar el marco teórico y práctico fundamental que se pretendía alcanzar con su aplicación. Los resultados y análisis de estos son presentados en la siguiente sección.

### 8.3 Resultados y Análisis

Para poder presentar los resultados y su análisis, se procedió a definir los tres grandes aspectos encuestados considerando la materia prima con la cual la industria primaria opera, sus desechos y sus capacidades de producción de algún tipo de energía. De esta forma se logró un proceso continuo en donde a partir de la materia prima se derivan las distintas posibilidades de contar biomasa residual con la cual poder desarrollar una prospección tecnológica de posibles tecnologías acordes con la realidad de la industria primaria.

#### 8.3.1 Materia Prima

La materia prima que las empresas procesan proviene, principalmente de terceros, quienes son dueños de bosques que poseen plan de manejo o autorización de manejo. La producción total de residuos madereros de la industria primaria de la madera en la región de Los Ríos es de 469.000 m<sup>3</sup>/año. El 96% de las empresas encuestadas obtiene su materia prima bajo estas condiciones y solo el 4% se autoabastece de bosques propios como es el caso de Aserradero Arauco ubicado en San José de la Mariquina, donde su producción total supera los 300.000 m<sup>3</sup>/año. La Figura 30 presenta los resultados de la concentración del abastecimiento en manos de terceros respecto al catastro de empresas de la industria maderera regional.

¿La empresa aprovecha sus propios bosques o se abastece de planes de manejo de otros propietarios?

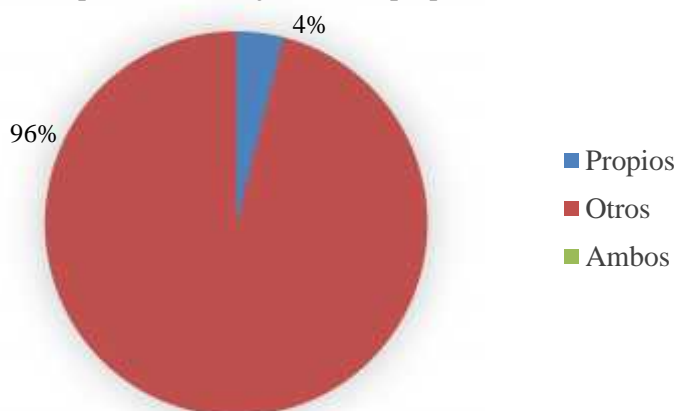


Figura 30 Clasificación del origen de la materia prima

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 30, se puede desprender la Figura 31, que representa a los abastecedores de materia prima en donde aserraderos Arauco cubre un 42% de la demanda de la industria primaria y en donde se puede apreciar un significativo 22% de abastecimiento que proviene de pequeño y/o mediano propietario de bosques.

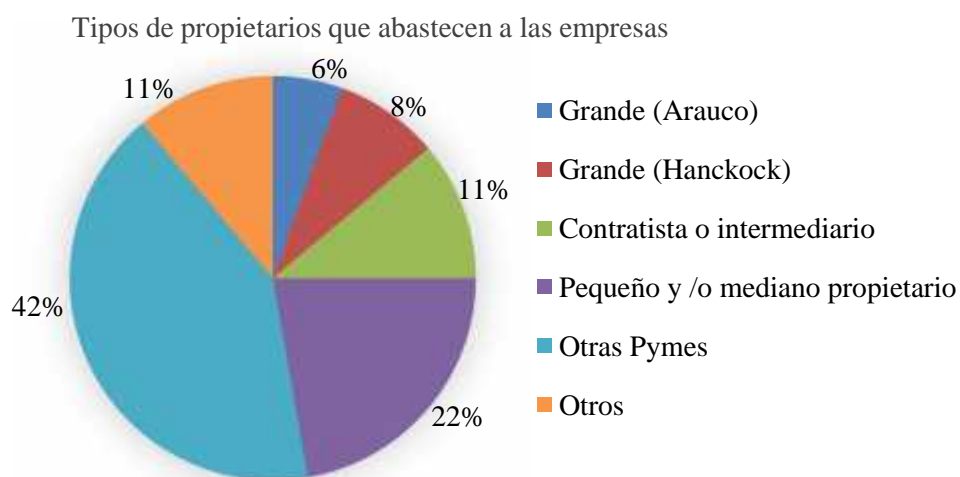


Figura 31 Clasificación de los tipos de propietarios abastecedores de materia prima

La Figura 32 muestra la clasificación de las especies forestales que la industria primaria consume, siendo el pino oregón, *PR* y el roble como las más representativas con un 27%, 33% y 13% respectivamente. El resto de las especies presenta un consumo menor al 10% del total consumido. El *PR* es la principal especie y su 33% equivale a casi 45.000 m<sup>3</sup> lo que sería equivalente a 180.000 m<sup>3</sup> para la industria primaria considerada en este estudio.

Tipología de las especies forestales que compran las empresas

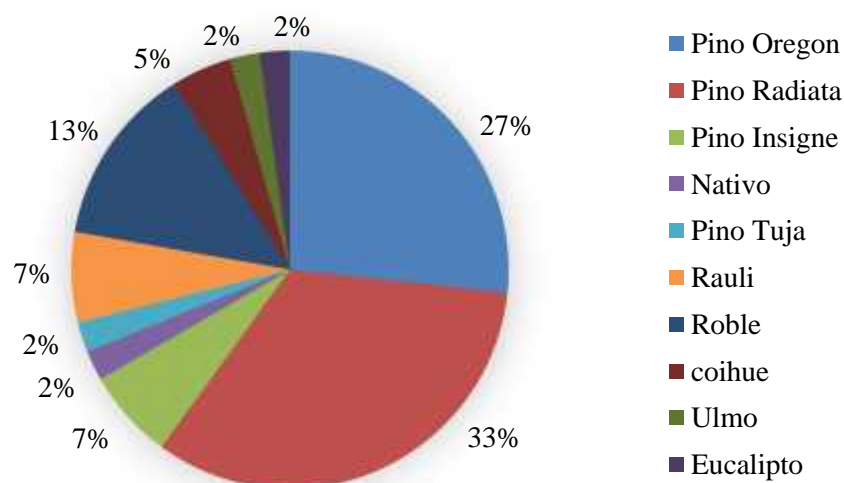


Figura 32 Clasificación de especies forestales consumida por la industria primaria

Respecto a la producción, la Figura 33 muestra que un 41% de la industria primaria produce menos de 500 m<sup>3</sup> anuales, lo que representa una muy baja producción en términos generales para la industria primaria. Del total, un 29% de esta produce entre 501 m<sup>3</sup> y 1000 m<sup>3</sup> al año.

Producción total promedio anual, en m<sup>3</sup>, de las empresa

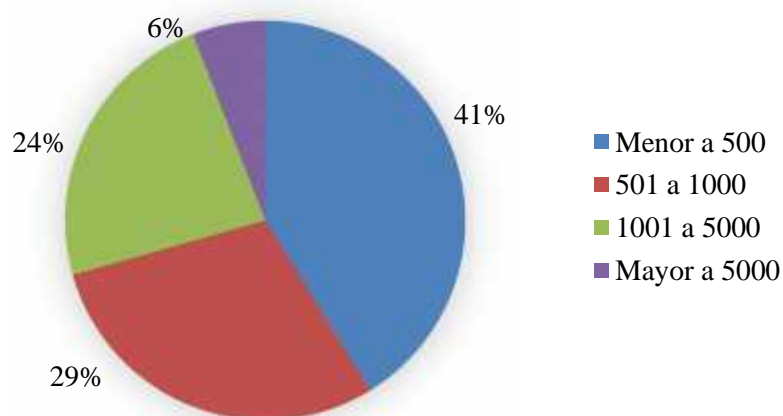


Figura 33 Producción anual promedio de la industria primaria

### 8.3.2 Desechos Madereros

Dentro del estudio estos desechos pasan a ser considerados biomasa residual, pero para efectos de la continuidad de la realidad de la industria primaria han sido tabulados como desechos. La Figura 34 muestra en forma significativa que un 75% de estos desechos son aserrín, lampazo y desechos de

corteza. Cuando se les consultó qué hacían con estos desechos, la industria primaria cuantifica que un 46% de estos desechos son donados a quienes los soliciten o simplemente son desperdiciados, sólo un 23% venden sus desechos al público general y un 11% es vendido a empresas que se dedican al astillado de desechos como se puede apreciar en la Figura 35. De las empresas encuestadas, el volumen total de desechos superó los 11.000 m<sup>3</sup>/año y de estos, 6.000 m<sup>3</sup>/año corresponden a aserrín.



Figura 34 Clasificación de los tipos de desechos generados por la industria primaria



Figura 35 Destino de ventas de desechos generados por la industria primaria

Respecto al uso que se les da a los desechos, el 44% que muestra la Figura 36 sigue conectado a la donación de los desechos, sin embargo, el 28% que está registrado como quemado, representa las capacidades de la industria primaria de usar estos desechos en equipos tales como calderas para la



generación de vapor y para la generación de electricidad ya sea para autoabastecimiento en el caso del vapor y para el autoabastecimiento y venta al SEN para el caso de la generación eléctrica.

¿Su empresa usa parte de los desechos, como los utiliza?

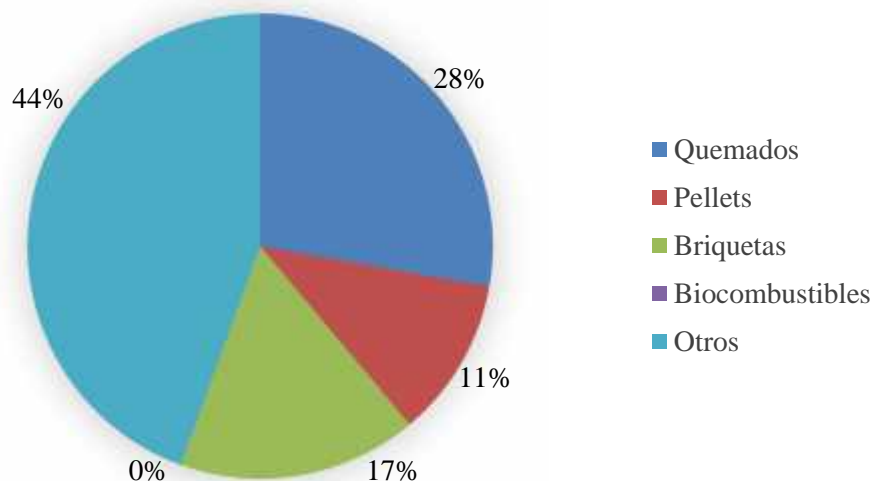


Figura 36 Usos de los desechos producidos por la industria primaria

Concentrando los resultados respecto al uso de los desechos madereros, un 52% de la industria primaria reconoce que pierde y no da uso a los desechos madereros y forestales como se puede apreciar en la Figura 37.

¿Su empresa pierde parte de los desechos generados en su producción?

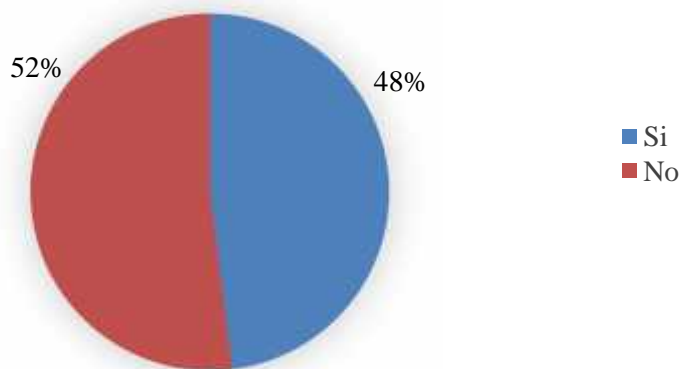


Figura 37 Aprovechamiento de los desechos producidos por la industria primaria

### 8.3.3 Producción de Energía

La producción de energía fue encuestada basándose en el autoconsumo de los desechos productivos de la industria primaria. La Figura 38 muestra que un 46% de esta usa electricidad como la principal

fuerza energética, un 17% consume energía térmica, en forma de vapor, específicamente para procesos de secado de madera. Se puede apreciar un significativo 37% que no usa/no responde y que corresponde principalmente a la movilidad de los tipos de aserraderos en donde el consumo de combustibles fósiles como la bencina y el diésel son los más importantes medios energéticos.

¿Su empresa consume energía eléctrica o térmica para su funcionamiento?

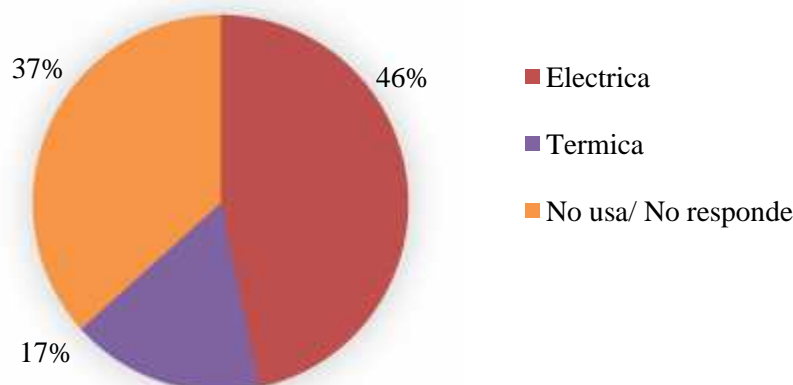


Figura 38 Tipo de energía consumida por la industria primaria

Cuando se les consulta respecto a que, si la instauración de una planta de generación eléctrica consumiendo desechos forestales puede generar competencia con sus procesos de abastecimiento y disponibilidad de materia prima, un 87% de las respuestas fue negativa. El restante 13% que, sí cree que sería competencia, presenta las razones en la Figura 39, en donde un 47% lo estima porque usaría la misma materia prima que actualmente consumen y un 12% cree que sería competencia por el alto costo de la madera. De este espectro de razones, un 6% cree que hay suficiente disponibilidad para considerar el establecimiento de una planta de generación eléctrica consumiendo desechos forestales lo que presenta una sensibilidad mayor a que los procesos productivos inherentes a la industria primaria se pueden diversificar y adaptar a condiciones operacionales acorde con el desarrollo de tecnologías que permitirían un aprovechamiento cabal de los desechos de la industria primaria.



Figura 39 Razones de competitividad de planta de generación eléctrica

Por último, al ser consultados respecto a que, si la generación de electricidad les permitía contribuir al SEN, sólo un 17% de la industria primaria respondió positivamente.

#### 8.4 Conclusiones

A partir de la encuesta aplicada, las conclusiones se han segregado respecto a la materia prima, desechos madereros y al uso de los desechos madereros por parte de la industria de la madera en la región de Los Ríos.

Respecto de la materia prima:

- ) Los datos en términos generales expresan que existen aproximadamente un total de residuos madereros generados por parte de la industria en la región de aproximadamente 469.000 m<sup>3</sup>/año.
- ) Si bien la producción está concentrada en la gran empresa forestal, existe una importante disponibilidad de residuos que son producidos por la pequeña y mediana empresa regional. A pesar, de que son volúmenes menores, es posible su aprovechamiento.
- ) Es importante resaltar un significativo 22% de abastecimiento que proviene de pequeño y/o mediano propietario de bosques, esto es el caso de la mayoría de los 130 aserraderos regionales.
- ) La clasificación de las especies forestales que la industria primaria consume muestra que el *PR*, pino oregón, y el roble como las más representativas con un 33%, 27% y 13% respectivamente.

- ) El *PR* es la principal especie y su 33% equivale a casi 45.000 m<sup>3</sup> lo que sería equivalente a 180.000 m<sup>3</sup> para la industria primaria considerada en este estudio.

Respecto de los desechos madereros:

- ) Un 75% de estos desechos son aserrín, lampazo y desechos de corteza.
- ) El principal desecho producido es el aserrín, en total el volumen de desechos supera los 11.000 m<sup>3</sup>/año, de esto aproximadamente 6.000 m<sup>3</sup>/año corresponden a aserrín.
- ) Casi el 50% de las empresas de la industria primaria no utiliza los desechos, estos son simplemente desperdiciados.
- ) Sólo un 23% venden sus desechos al público general y un 11% es vendido a empresas que se dedican al astillado de desechos madereros.

Respecto al uso de los desechos madereros:

- ) De los aserraderos encuestados, el 46% de estos usa electricidad como la principal fuente energética, un 17% consume energía térmica, en forma de vapor, específicamente para procesos de secado de madera.
- ) Casi un 40% de los aserraderos en la región no usa/no responde sobre el consumo de algún tipo de energía esto es porque, corresponde principalmente a los tipos de aserraderos “móviles” en donde el consumo de combustibles fósiles como la bencina y el diésel son los más importantes medios energéticos.
- ) Casi un 90% de los encuestados, respondió negativamente respecto a que, si la instauración de una planta de generación eléctrica consumiendo desechos forestales puede generar competencia con sus procesos de abastecimiento y disponibilidad de materia prima.

Los resultados de la aplicación de la encuesta a la industria primaria muestran que el desarrollo industrial está marcado por los grandes actores de la industria y aquellos pequeños y medianos que pudiendo ser más competitivos no cuentan con un plan de desarrollo sustentable ni al mediano ni largo plazo.

Las tecnologías usadas por la pequeña y mediana empresa son antiguos y sin un plan de prolongación de vida útil o de reemplazo.

Si bien mucha información es entregada en la encuesta, no toda pudo ser tabulada ya que en algunos casos las entrevistas personales permitieron conocer más antecedentes de los procesos actuales y de lo que esperarían para el futuro.

El desarrollo de este estudio permitiría facilitar la inclusión de tecnologías a la industria primaria que conllevaría a planes de desarrollo acordes.

Una posible estrategia se puede enfocar en el establecimiento de modelos de negocios asociativos, que permitan una venta en conjunto de la producción de desechos madereros para la generación de energía.

Se visualiza una necesidad de desarrollar una estrategia de incorporación a la cadena de valor, del producto de los desechos madereros para la generación de energía, debido a que los pequeños y medianos empresarios, en algunos casos desechan este producto y no lo consideran como una opción de negocios.

Los riesgos que se pueden enfrentar están más que nada referidos, a los riesgos propios del sector de la madera, que es la falta de abastecimiento de materias primas, situación que es inherente al sector, debido a las barreras de entrada a la propiedad de los bosques que hoy tienen los pequeños y medianos empresarios de la industria primaria, por la alta concentración en grandes empresas forestales. Otro riesgo relevante, podría ser la competencia de nuevos productos asociados al uso de los desechos de la madera como, por ejemplo, la fabricación de tableros y otros productos similares.

Existe un potencial interesante de uso de los desechos de la madera, pero estos deberían ser acompañados de los desarrollos de tecnología acordes y a recursos de soporte provenientes de subsidios e incentivos y entorno a políticas públicas regionales adecuadas para incorporar a este producto en la cadena de valor del sector.

## **9. Costos de Suministro de Biomasa Disponible, Aprovechable y Redes**

El presente capítulo de costos de suministro de biomasa disponible, aprovechable y redes está asociado como un complemento de la información entregada en Informe 1 (IBOS-FCI, 2018) y como el nexo entre dicho informe y el presente cuando se analizan las diferentes alternativas tecnológicas y se llevan a cabo los estudios de prefactibilidad de proyectos que consumen biomasa forestal.

Se ha llevado a cabo una recolección de antecedentes de costos de la biomasa residual basados en una segmentación regional, georreferenciación y una definición del macro emplazamiento óptimo de futuros proyectos biomásicos. Finalmente se ha logrado conectar esta información para una evaluación del potencial de generación según distintos tipos de tecnologías de aprovechamiento de la biomasa residual. Este capítulo considera los costos de suministro de diferentes tipos de biocombustibles sólidos procedente de; residuos del BN, residuos de cosecha de plantaciones forestales y residuos de la industria primaria de la madera.

Los costos de la biomasa fueron calculados considerando dos configuraciones logísticas de cadenas de suministro; astillado en origen, fundamentalmente en predio, y astillado en central de biomasa. La evaluación de costos de suministro para los diferentes estudios de caso se realizó mediante la construcción de curvas de costos marginales. Estas curvas resumen la relación entre el costo de abastecimiento, de la última unidad, para un destino específico, que corresponde a los casos de estudio y a la cantidad de biomasa residual demandada. El costo de suministro incluye el costo de aprovechamiento de la biomasa, considerando su recolección, apilado y astillado, almacenamiento externo en caso de astillado en central de biomasa, y transporte hasta los centros de consumo mediante la obtención de la ruta óptima desde cada origen de oferta de biomasa a cada uno de los centros de los destinos de consumo prefijados a partir de análisis de redes. Asimismo, la estimación de costos de suministro abarca la disponibilidad teórica total de biomasa forestal disponible en la región de Los Ríos, y la implementable en el corto y mediano plazo para nuevos proyectos, a través del análisis de escenarios de utilización optimista, pesimista y más probable, considerando para esto factores como dispersión y atomización de cada oferta de biomasa, calidad de la red de caminos y precio de productos sustitutos.

## 9.1 Metodología

El proceso metodológico para el desarrollo de este capítulo consistió en la recolección de información sobre el mercado de la biomasa en la región de Los Ríos, considerando residuos provenientes del manejo del BN, residuos de cosecha de plantaciones forestales y residuos de la industria primaria de la madera. Se analizaron fuentes secundarias mediante una revisión bibliográfica, recopilación de datos estadísticos e información primaria mediante consultas realizadas a productores y comercializadores de leña certificada, propietarios de plantaciones, empresas de servicios forestales, empresas de transporte de madera y astillas e industrias primarias de la madera. Información referente sobre procesos de producción, procesamiento y transporte de biomasa residual también es incluida.

Se estandarizó la información recolectada en términos de valores, estado de la biomasa y factores de conversión volumétricos como se puede apreciar en las Tabla 19 (Francescato, Antonini et al., 2008). La Tabla 20 presenta los factores de equivalencia calculados usando los valores referenciales de la Tabla 19 (Sotomayor, Helmke et al., 2002). Para las condiciones iniciales de cálculo se consideró un valor de \$600 por 1 USD, se estandarizó el uso de la tonelada seca, TS, estado anhidro de biomasa como unidad de medida y en algunos casos se estimaron valores promedios como, por ejemplo, para las distintas especies nativas.

Especie	Densidad (kg/m <sup>3</sup> s)	Medida	Factor de Conversión
<b>Especies nativas</b>	501	MR a m <sup>3</sup> s	1,52
<b>PR</b>	430	m <sup>3</sup> s a m <sup>3</sup> est rollizo	1,66
<b>Eucalyptus sp.</b>	540	m <sup>3</sup> s a m <sup>3</sup> est lampazo	2,00
<b>Residuos de industria</b>	485	m <sup>3</sup> s a m <sup>3</sup> est astillas y residuo	2,50 <sup>6</sup>

Tabla 19 Densidad y factores de conversión volumétricos de la madera

Tipo Biomasa	Factores de equivalencia			
	TS	MR	m <sup>3</sup> s	m <sup>3</sup> est
<b>Nativo, Leña</b>	1	1,31	2,00	3,31
<b>Rollizo PR</b>	1	1,53	2,33	3,86
<b>Rollizo Eucalyptus sp.</b>	1	1,22	1,85	3,07
<b>Residuo PR</b>	1	-	2,33	5,81
<b>Residuo Eucalyptus sp.</b>	1	-	1,85	4,63
<b>Aserrín/viruta</b>	1	-	2,06	5,15
<b>Astillas</b>	1	-	2,06	5,15
<b>Corteza</b>	1	-	2,06	5,15
<b>Lampazos</b>	1	-	2,06	4,12

Tabla 20 Factores de equivalencia volumétrica



## 9.2 Costos de Suministro de Biomasa

Se consideraron dos escenarios de configuración logística para la cadena de suministro de astillas de madera, dependiendo principalmente de dónde se realiza el astillado, ya sea en predio o en central de biomasa. Estos dos escenarios también son utilizados para residuos de la industria primaria de la madera, correspondiente a aserrín, corteza y lampazos. Además, se considera un tercer escenario aplicable para BN y que considera la producción de astillas como un subproducto de la producción de leña.

Los costos de producción fueron calculados por tonelada seca de biomasa considerando los factores de equivalencia de las especies por tipo de biomasa presentados en la Tabla 20. Los costos de producción y transporte fueron estimados considerando los tres escenarios de configuración logística mencionados previamente.

### 9.2.1 Astillado a Orilla de Camino

Con este método los residuos forestales son transportados a orilla de camino, donde después de un periodo de exposición en terreno para disminuir su contenido de humedad, reducir el nivel de impurezas y permitir que los árboles pierdan sus ramas finas y hojas, son astillados e introducidos directamente al contenedor del camión para ser llevados a la central térmica. El costo de producción bajo el método de astillado a orilla de camino incluye el costo de recolección, astillado y transporte.

El costo de producción de biomasa astillada a partir de biomasa residual es basado en datos de 19 predios y una superficie total de aprovechamiento de 2.629 ha ubicadas entre las regiones del Biobío y El Maule. Se asumió que un 40% del costo total corresponde a recolección y extracción de residuos hasta orilla de camino, y el 60 % restante corresponde al costo de astillado (Acuña, Cancino et al., 2017). El costo de transporte corresponde a un promedio de la tarifa consultada a tres empresas de transportes de astillas en la región de Los Ríos<sup>7</sup>. Se considera un costo de transporte de astillas de USD 0,161/TS km.

---

<sup>7</sup> Se utilizó el valor promedio de costos de tres empresas de transporte de astillas consultadas, con un rango de precios de \$1.200/camión km - \$1.800/camión km con una capacidad de carga promedio de 80 m<sup>3</sup>est.

Especie	Costo (USD/TS)				
	Recolección	Carga	Descarga	Acopio	Astillado
<b>Nativo</b>	38,7	-	-	-	24,9
<b>PR</b>	12,8	-	-	-	19,1
<b><i>Eucalyptus sp</i></b>	12,8	-	-	-	19,1

Tabla 21 Costos de producción astillado a orilla de camino

### 9.2.2 Astillado en Central de Biomasa

Con este método los residuos son transportados a una central de biomasa donde se lleva a cabo el astillado y el almacenamiento intermedio de las astillas. Desde el punto de vista de la oferta, el escenario de astillado en central de biomasa es aplicable cuando la topografía, la red de caminos o el tamaño del área de recolección no permite que astilladores móviles ingresen al rodal u operen en forma económica por el costo de traslado. Desde el punto de vista de la demanda, este escenario es necesario cuando la central de bioenergía no cuenta con el espacio suficiente para almacenar el biocombustible sólido, requiriendo un lugar de almacenamiento externo. Este método, a diferencia del método de astillado a orilla de camino, incluye además el costo de carguío y transporte intermedio de biomasa residual realizado con camión de madera tipo metro ruma equipado con grúa auto cargable, el costo de descarga de residuos en central de biomasa con grúa estacionada en terminal de combustible, donde se asume el 50% de costo de carguío con camión y grúa auto cargable, y el costo de acanche de residuos durante el periodo de almacenamiento, que puede ser de hasta seis meses.

Como etapa final se realiza simultáneamente el astillado y carguío de astillas a camión con contenedor para su transporte final hacia la central de biomasa. La Tabla 22 presenta los costos de producción de astillado en central de biomasa, donde se considera un costo de transporte de biomasa residual de USD 0,226/TS km y un costo de transporte de astillas de USD 0,161/TS km (Acuña, Cancino et al., 2017).

Especie	Costo (USD/TS)				
	Recolección	Carga	Descarga	Acopio	Astillado
<b>Nativo</b>	38,7	3,8	1,9	2,4	17,9
<b>PR</b>	12,8	4,5	2,2	4,1	20,8
<b><i>Eucalyptus sp.</i></b>	12,8	4,5	2,2	4,1	20,8

Tabla 22 Costos de producción astillado en central de biomasa

Para BN se utilizó el costo de producción de leña como una aproximación al costo de producción de astillas. Los valores fueron obtenidos de dos productores certificados de leña de BN en la región de

Los Ríos<sup>8</sup>. Para el caso de residuos de plantaciones, se utilizó el 40% del costo de recolección y producción de astillas (Acuña, Cancino et al., 2017). El costo de carga y transporte con camiones de madera tipo metro ruma y grúa auto cargable proviene de empresas de servicios de transportes de la región de Los Ríos<sup>9</sup>.

### 9.2.3 Astillado como Subproducto de la Producción de Leña

A nivel nacional el 60% de la leña consumida anualmente proviene de BN, a su vez, el 96% de toda la madera extraída del BN es utilizada como leña (Reyes, 2017; Reyes, Nelson et al., 2017). En este contexto, supeditar la *“disponibilidad de biomasa potencial determinada en este estudio a la utilización de productos maderables más nobles para hacerse efectiva”* (IBOS-FCI, 2018), implica limitar a priori la producción de biomasa a sólo un 4% de la superficie con producción actual. Por otra parte, la propuesta de estándar de calidad de la leña diseñada por el Comité de Académicos entregada al Ministerio de Energía por intermedio del Comité Interministerial de leña introduce como nuevo parámetro del estándar de calidad la dimensión del trozo de leña, estableciendo diámetros mínimos de la leña trozada en 5 cm (Ortega, 2016).

La elevada tasa de producción de leña en BN junto a la normativa asociada a su uso, orientada a poner limitaciones también en el tamaño del trozo, sugiere que existe un alto potencial de producción de biomasa, en formato astillas, como un subproducto de la producción de leña. Además, esta estrategia de producción permite disminuir sus costos de producción ya que parte de éste se traspasa a la producción de leña, aumentando a su vez la rentabilidad total por superficie.

Bajo este escenario se estimó el costo de producción de astillas de BN con el método de astillado a orilla de camino y astillado en central de biomasa. Este supuesto asume que el método de aprovechamiento es de árbol completo y el trozado de leña se realiza a orilla de camino, por lo tanto, el costo de volteo y extracción queda imputado a la producción de leña. Así se asume un costo de la biomasa residual puesta a orilla de camino equivalente al 30% del costo de producción de leña por concepto de recolección y apilado como se puede apreciar en la Tabla 23 donde también se considera un costo de transporte de astillas de USD 0,161/TS km.

---

<sup>8</sup> Comunicación personal.

<sup>9</sup> Se utilizó el costo promedio de cinco empresas de transporte consultadas, con un rango de \$1.500 a \$2.500/camión km y una capacidad de carga de 20 MR, y un costo de carguío de \$1.500 a \$2.000/MR

Método de Astillado	Costo (USD/TS)					Costo (USD/TS km)
	Recolección	Carga	Descarga	Acopio	Astillado	Transporte Biomasa Residual
<b>Orilla de Camino</b>	11,6	-	-	-	24,9	-
<b>En Central de Biomasa</b>	11,6	3,8	1,9	2,4	17,9	0,226

Tabla 23 Costos de producción astillado como subproducto de producción de leña

### 9.3 Cálculo de Costos de Suministro

Los costos de suministro fueron calculados por tonelada seca de biomasa, USD/TS. Para residuos de BN provenientes de la producción de leña se utilizaron costos de suministro en central de biomasa, ya que la fragmentación de superficies limita la posibilidad de un aprovechamiento mecanizado y astillado en predio. Estudios anteriores han estimado que el astillado a orilla de camino requiere al menos de 25 ha de residuos de cosecha para operar económicamente. Para los residuos de cosecha de plantaciones forestales y residuos de la industria primaria de la madera el costo de suministro depende del tamaño de la planta de biomasa.

El proceso de estimación del costo de transporte comprende la obtención de la ruta óptima desde el origen de cada oferta de biomasa a cada uno de los centros de consumo prefijados mediante análisis de redes. Este procedimiento utiliza un algoritmo de distancia mínima que se resuelve con la herramienta de redes del software ArcGIS 10 (ArcGIS, 2018). El cálculo de los costos variables del transporte de biomasa se determina usando la Ecuación 2 para cada ruta que ha sido derivada de estudios anteriores incorporando el estándar de camino y tipo de carpeta en USD/TS.

$$\text{Costo de Transporte} = 3,0851 + 0,1095 * DP + 0,1313 * DR + 0,1861 * DT$$

Ecuación 2 Costos variables del Transporte de Biomasa

Donde, la distancia pavimento, DP, en km, la distancia camino público ripio, DR, en km y la distancia camino predial, ripio o tierra, de baja velocidad, con pendientes y curvas, DT en km son consideradas. El cálculo del costo de transporte considera que la biomasa se transporta con un 50% de humedad, calculado en base peso seco.

#### 9.3.1 Análisis de Costo Marginal

Para facilitar el análisis comparativo de costos de suministro para diferentes localizaciones y tipos de plantas de biomasa, se construye una curva de costos marginales para todos los centros de consumo. Esta curva agrega la oferta de biomasa según costos crecientes, lo que determina una relación entre el costo de abastecimiento para un destino específico y la cantidad demandada, permitiendo determinar

el costo marginal, de la última unidad, y el costo medio para la oferta acumulada, esto logra estimar el precio que debería pagar la planta para asegurar su abastecimiento. El análisis además permite identificar a los productores por nivel de costo y radios de distancia.

### **9.3.2 Disponibilidad Teórica Total de Biomasa en la Región de Los Ríos**

El flujo potencial de biomasa que aportaría el manejo sustentable del BN es de 1.892.260,5 TS/año (IBOS-FCI, 2018). Las estructuras de bosques que aportan mayormente al flujo anual de biomasa son bosque renewal con 968.137 TS/año, lo que representa el 51,2% del flujo total anual. Cabe mencionar que el 63,6% del flujo anual, se encuentran en los renovales sobre 12 m de altura. El Tipo Forestal Roble/Raulí/Coihue y el subtipo Roble representan el 58,2%, equivalente a 563.722 TS/año, del flujo potencial de biomasa que aportan los renovales. Respecto del flujo de biomasa a nivel de tipos forestales, se ve un fuerte aumento en Roble/Raulí/Coihue y Coihue/Raulí/Tepa entre los años 2015 y 2017.

En total se estima que la región presenta un flujo potencial de biomasa forestal a partir de residuos de cosecha de plantaciones forestales de 425.820 TS/año en situación de régimen (IBOS-FCI, 2018). De este total, las Pymemad aportan 102.190 TS/año, las grandes empresas aportan 217.720 TS/año y el resto que equivale a 105.911 TS/año lo aportan flujos no detectados en el monitoreo del año 2017 y que no fue incluido en Pymes y grandes empresas.

### **9.3.3 Criterios para Definición de Escenarios de Disponibilidad de Biomasa**

La finalidad de los escenarios de utilización potencial es generar una aproximación sobre la cantidad de biomasa técnica y económicamente susceptible de ser utilizada en el corto y mediano plazo para nuevos proyectos de biomasa, calculada sobre la base de la disponibilidad teórica total de biomasa en la región de Los Ríos.

Para cada tipo de proveniencia de biomasa; residuos del manejo de BN, residuos de cosecha de plantaciones forestales y residuos de la industria primaria de la madera, se definieron criterios de utilización. En primer lugar, sólo se consideró la biomasa en propiedad de particulares y Pymes, y no de la GEF, ya que se asume que estas últimas destinan los residuos a consumo interno. Asimismo, se utilizaron otros criterios como, el tamaño del rodal, la acumulación de biomasa, la calidad de la red de caminos y aspectos económicos como competencia con otros usos y precios de productos sustitutos.

En el caso de BN, su utilización como fuente de biocombustible en el corto y mediano plazo para nuevos proyectos de biomasa es complejo, debido principalmente a que los rodales potencialmente manejables se encuentran en áreas de reducido tamaño y, a la vez, dispersos respecto de los centros de

consumo, lo que conlleva un alto costo de suministro debido a que no se logran las economías de escala necesarias para permitir un aprovechamiento eficiente de este recurso, independiente de su alta disponibilidad teórica en la región de Los Ríos. Sumado a lo anterior, los elevados precios actuales de la leña significan un desincentivo para que los productores destinen su producción a un producto sustituto.

Se han considerado distintos escenarios de uso de biomasa residual; un escenario optimista, uno pesimista y un escenario más probable. Estos escenarios también considerados según su fuente de proveniencia considerando la disponibilidad potencial de residuos provenientes de BN, plantaciones e industria primaria de la madera.

Se han colectado algunos antecedentes:

- ) En la región de Los Ríos el consumo total de leña es de 707.000 m<sup>3</sup>/año distribuidos en el sector residencial que consume 641.000 m<sup>3</sup>/año y el sector industrial, comercial y público, que se considera como grandes consumidores, que alcanza los 66.000 m<sup>3</sup>/año (Reyes, 2017). La equivalencia sería de 1.539.273 m<sup>3</sup>st para la región de Los Ríos (Ministerio de Energía, 2015).
- ) De este consumo total, un 59% corresponde a especies nativas y 41% a especies exóticas, con lo cual se puede calcular un consumo de leña de especies nativas en la región de Los Ríos de 417.130 m<sup>3</sup>/año, equivalente a 238.360 TS/año.
- ) La disponibilidad total de biomasa de BN es de 1.892.261 TS/año (IBOS-FCI, 2018). Considerando este valor como base, la información de consumo más actual de leña de especies nativas representa el 13% de la disponibilidad total de biomasa de BN en la región de Los Ríos.

La utilización potencial teórica de residuos de BN abarca sólo los residuos de la producción de leña, que incluye a la fracción superior del fuste y ramas pequeñas, que es equivalente aproximadamente al 15% de la biomasa fustal de las especies de mayor uso en la región de Los Ríos, que son Roble/Raulí/Coihue y Coihue/Raulí/Tepa, calculado sobre la base del consumo más actual de leña informado (Reyes, 2017). Analizando el escenario de uso de biomasa residual potencialmente disponible proveniente de BN, se puede inferir que, tomando como base la proporción de uso actual de biomasa de BN en relación con la disponibilidad total, se podría establecer escenarios de uso de residuos optimista en un 40%, pesimista en un 10% y más probable con un 25%.

Por otra parte, la producción de leña deja en el bosque fracciones del fuste y ramas pequeñas susceptibles de ser utilizadas para la producción de astillas a un costo competitivo, ya que parte del

costo de aprovechamiento se traspasa a la producción de leña. A su vez, este aprovechamiento complementario aumenta la rentabilidad total por superficie.

Respecto al modelo de producción, debido a que el 96% de toda la madera extraída del BN a nivel nacional es utilizada como leña (Reyes, 2017), se propone un modelo de producción conservador considerando un 80% de la producción de astillas como subproducto de la producción de leña y el 20% restante como residuo asociado a usos más nobles de la madera.

La utilización potencial de residuos de plantaciones forestales sólo incluye las especies *PR* y *Eucalyptus sp.* Los escenarios de utilización de residuos de plantaciones forestales representan el 70% como escenario optimista, 30% como escenario pesimista y 50% como escenario más probable de la utilización potencial teórica.

La utilización potencial de residuos de la industria primaria de la madera considera sólo aserrín, corteza y lampazos generados en todos los aserraderos con una producción de residuos mayor a 1.000 m<sup>3</sup>/año. No se incorporó los residuos de las industrias con menor producción, principalmente aserraderos móviles, debido a la dificultad en la recolección de sus residuos acumulados en pequeñas cantidades y en diferentes sitios de producción. También se excluye los residuos de la única industria con producción anual de residuos mayor a 250.000 m<sup>3</sup>/año debido a que éstos son destinados a consumo interno.

Los escenarios de utilización de residuos de la industria primaria representan el 70% como escenario optimista, 30% como escenario pesimista y 50% como escenario más probable de la utilización potencial teórica, por cuanto ya existe experiencia de mercado, lo cual permite asumir una mayor tasa de recuperación respecto a residuos de BN.

Las mejores condiciones de conectividad, el mayor tamaño de los rodales, el mayor conocimiento sobre el mercado y las cadenas de suministro permiten asumir una mayor tasa de recuperación de residuos de plantaciones forestales, por lo cual se propone utilizar estos porcentajes como los escenarios pesimista, más probable y optimista, respectivamente, entendiendo que se trata de un ejercicio teórico con la finalidad de identificar puntos potenciales de ubicación de plantas de consumo de biomasa residual basado en su disponibilidad potencial en la región de Los Ríos. Los mismos porcentajes de uso de residuos podrían ser utilizados para la industria primaria de la madera, tomando en cuenta, además, la sugerencia de industrias que no realizarían entrega de lampazos.





#### 9.4 Estimación de Disponibilidad por Tipo de Biomasa Residual

La información utilizada para esta sección corresponde a información entregada por la industria del aserrío presentada en sección Análisis Encuesta Industria Primaria, específicamente de la empresa Sociedad de Manufacturas Timberni Ltda. dedicada a la producción de madera aserrada de *PR*. La Tabla 24 presenta los resultados de la encuesta realizada a la empresa mencionada, donde queda un 6,4% de biomasa residual sin informar, los que se han asumido como residuos no recuperables del proceso de producción de madera aserrada (Timberni, 2018).

Sociedad Manufacturas Timberni Ltda.	Producción (m <sup>3</sup> est/mes)	Rendimiento (%)
Consumo de Madera	4.167	-
Producción Aserrable	2.000	48,0
Residuos		
Corteza	400	9,6
Lampazos	1.000	24,0
Aserrín	500	12,0

Tabla 24 Estimación de producción de biomasa residual

La industria primaria en la región de Los Ríos está compuesta por 140 empresas, pero antecedentes de sólo 130 empresas están disponible como se presentó en sección Elaboración y Aplicación. Información sobre disponibilidad potencial de biomasa residual de estas empresas fue posible de coleccionar como se presenta en Tabla 25. De estos resultados, Aserraderos Arauco presenta la mayor capacidad de producción de biomasa residual, 250.000 m<sup>3</sup>/año, los cuales son utilizados para consumo interno.

También es posible inferir que la mayor cantidad de empresas con producción menor a 500 m<sup>3</sup> corresponden a aserraderos portátiles, en cuyo caso se dificulta la recolección de, por ejemplo, lampazos debido a la característica móvil de trabajo, en este sentido, tampoco debieran ser consideradas como productoras de lampazos las plantas de astillado debido a que corresponde a un proceso intermedio, por lo tanto no existe producción, lo mismo ocurre con la industria de polines y postes, ya que se trata de un subproducto.

Cantidad de Biomasa Residual (m <sup>3</sup> )	Número de Aserraderos	Promedio (m <sup>3</sup> /año)	Total (m <sup>3</sup> /año)	Total (TS/año)
> 500	68	500	34.000	19.380
501 – 1.000	20	1.000	20.000	11.400
1.001 – 5.000	23	5.000	115.000	65.500
5.001 – 10.000	5	10.000	50.000	28.500

Cantidad de Biomasa Residual (m <sup>3</sup> )	Número de Aserraderos	Promedio (m <sup>3</sup> /año)	Total (m <sup>3</sup> /año)	Total (TS/año)
10.001 – 25.000	1	250.000	250.000	142.500
Sin Especificar	13	-	-	-
<b>Total</b>	<b>130</b>		<b>469.000</b>	<b>267.280</b>

Tabla 25 TS/año de biomasa residual potencial de la industria primaria región de Los Ríos

Con lo anterior, se puede incluir entre las empresas con capacidad de entrega de lampazos a los aserraderos y la industria de tableros y chapas con una producción anual de residuos de 500 m<sup>3</sup> a 10.000 m<sup>3</sup>. En total, se estima que la región presenta un flujo potencial de biomasa forestal, a partir de residuos de la industria primaria de la madera, de 124.780 TS/año cuando se descuenta la producción de Aserraderos Arauco S.A.

## 9.5 Precios de Compra de Biomasa Forestal

Se ha establecido una estimación de precios de compra de biomasa forestal según el tipo y de donde esta proviene, considerando el BN y los residuos de cosecha de plantaciones y de la industria primaria.

Para el BN, los valores corresponden a precios de venta de leña puesto en predio, como se puede apreciar en la Tabla 26. La información proviene de encuestas realizadas desde septiembre a noviembre de 2016 a 50 productores de la región de Los Ríos con representación de 8 comunas: Corral, La Unión, Lago Ranco, Lanco, Los Lagos, Panguipulli, Río Bueno y Valdivia. Las encuestas fueron realizadas en el marco del proyecto de Trazabilidad de leña en Chile por el Sistema Nacional de Certificación de Leña región de Los Ríos (SNCL, 2017).

Precio Puesto en Predio (USD/TS)	Categorías		
	1 <sup>10</sup>	2 <sup>11</sup>	3 <sup>12</sup>
<b>Promedio</b>	63,0	88,6	124,0
<b>Máximo</b>	55,2	77,3	99,4
<b>Mínimo</b>	66,3	99,4	143,6

Tabla 26 Precios de leña nativa semihúmeda puesta en predio según especie dominante

Los precios de leña se clasificaron en tres categorías basado en la especie dominante. Además, se consideraron los precios de leña en condición de semihúmedo, rango de humedad de 20% a 40% con

<sup>10</sup> dominado por canelo con mezclas de tepa, temu, radial y olivillo.

<sup>11</sup> dominado por roble con mezclas de laurel y coihue principalmente.

<sup>12</sup> dominado por ulmo y luma con mezclas de tineo, laurel y lingue.

promedio de 30% en base húmeda, equivalente a aproximadamente un 43% base seca. Estudios indican que es posible lograr esta condición en especies nativas en la región de Los Ríos mediante su exposición en terreno, por ejemplo, a orilla de camino con dos a tres meses en época estival (Instituto de Silvicultura, 2012; Pantoja Toro, 2012). Esta condición también permite aumentar el valor agregado de la biomasa para el productor y disminuir los costos de transporte por tonelada seca de biomasa debido a que se reduce la cantidad de agua transportada. La estimación de producción de leña según especies más relevantes se estimó sobre la base del flujo anual de biomasa teórico total para los tres tipos forestales de mayor relevancia como se puede apreciar en la Tabla 27.

Tipos Forestales Proveedores	Superficie Total (ha)	Flujo anual (TS/año)	Consumo Leña (TS/año)	Uso
<b>Roble/Raulí/Coihue</b>	187.419	924.846	97.728	10,6%
<b>Coihue/Raulí/Tepa</b>	171.323	575.353	90.577	15,7%
<b>Siempreverde</b>	93.825	272.739	50.056	18,4%
<b>Total</b>	452.567	1.772.937	238.360	45,0%

Tabla 27 Estimación consumo de leña en región de Los Ríos

Para los residuos de cosecha de plantaciones, los valores de especies *PR* y *Eucalyptus sp.* se encuentran expresados en astillas puesto en destino final como se puede apreciar en la Tabla 28. El precio fue obtenido de dos aserraderos que compran astillas para la producción de energía térmica orientado al secado de madera aserrada (Timberni, 2018) y corroborado por un asesor con experiencia en la evaluación de proyectos con biomasa forestal (KPA Unicon, 2016). El precio utilizado fue de USD 10,83 m<sup>3</sup>est y ya que el precio se encuentra expresado por unidad de volumen, el precio por tonelada seca entre ambas especies se diferencia únicamente debido a las diferencias en la densidad de la madera, como se pudo apreciar en la Tabla 19.

Para los residuos de la industria primaria de la madera, el precio considera al residuo en la industria de origen puesto en camión, lo que incluye el costo de carguío, como se puede apreciar en la Tabla 28. La industria de la madera en la región de Los Ríos considera un precio de venta igual para el aserrín y la corteza<sup>13</sup>. La principal diferencia entre el aserrín, corteza y lampazos es que los dos primeros son utilizados directamente como biocombustible, en cambio los lampazos requieren de un proceso de astillado antes de ser utilizados como biocombustible.

<sup>13</sup> Precios de aserrín y corteza de \$2.500 a \$3.500/m<sup>3</sup>est obtenido por tres aserraderos de la región de Los Ríos. Para el caso de lampazos se consideró el precio de \$4.000/m<sup>3</sup>est reportado por Sociedad de Manufacturas Timberni Ltda.

Residuos		Precio (USD/TS)
de Plantaciones	PR	63,0
	<i>Eucalyptus sp.</i>	
de Industria	Aserrín y Corteza	25,8
	Lampazos	27,5

Tabla 28 Precios de astillas de residuos de la industria primaria

## 9.6 Contenido de Humedad de la Biomasa Residual

La estimación del contenido de humedad de la biomasa proveniente de residuos de cosecha se realizó en base a muestreos realizados en distintos sitios, tanto de BN como de plantaciones forestales ubicadas en la región de Los Ríos (Instituto de Silvicultura, 2012). En total se evaluaron seis sitios en donde previamente se habían realizado cortas intermedias en el caso de BN y cortas finales o cosecha en el caso de plantaciones.

Debido a las distintas condiciones de humedad inicial de la biomasa, el estudio consideró un contenido de humedad estándar de 50% en base húmeda, el cual corresponde al promedio registrado para todos los sitios estudiados. De cada sitio se obtuvieron muestras correspondientes a 1 m<sup>3</sup>s de leña, los cuales se dejaron secar por un periodo de cuatro meses, desde enero a abril, realizando análisis de contenido de humedad en forma periódica. Transcurrido el periodo de secado se obtuvo el contenido de humedad final de los residuos para cada sitio como se puede apreciar en la Tabla 29 (Instituto de Silvicultura, 2012).

Tipo de Bosque	Sector	Contenido de Humedad Final (%)	
		Base Húmeda	Base Seca
<b>Populus sp.</b>	Fundo Teja Norte	25	33
<b>Renoval Nothofagus Oblicua</b>	Fundo Teja Norte	26	35
<b>Renoval Drimys Winteri</b>	Llancahue	21	27
<b>Renoval Mixto</b>	Llancahue	27	37
<b>Plantación PR</b>	El Lingue	19	23
<b>Plantación PR</b>	Trotolhue	19	23

Tabla 29 Estimación del contenido de humedad de biomasa residual

Un caso específico en los estudios de contenido de humedad se presentó con los residuos provenientes de regeneración natural de *Acacia melanoxylon*. Los resultados indican que el secado natural de biomasa en la provincia de Valdivia posee un fuerte componente estacional. En este sentido, para obtener un contenido de humedad deseado por debajo del 30%, en base húmeda, durante los períodos de lluvias es fundamental el uso de cobertor. El tipo de cobertor empleado tuvo un buen desempeño

dado que cumplió su función de aislación durante el invierno sin afectar la velocidad de secado durante la época estival.

Durante los meses estivales no es necesario el uso de cobertor, siempre y cuando la biomasa se encuentre apilada a una altura mínima de dos metros, ya que con el apilado a menor altura la biomasa es más sensible a periodos de lluvia ocasional, dificultando alcanzar contenidos de humedad estables bajo un 30%. En caso de limitaciones para apilar la biomasa en al menos dos metros de altura, como ocurre cuando se realiza el madereo con bueyes, es recomendable cubrir la biomasa en el menor tiempo posible después de realizado el apilado.

### 9.7 Poder Calorífico de las Especies

El poder calorífico superior y porcentaje de cenizas es presentado en la Tabla 30 (Burgos-Olavarría, Guineo et al., 2015; EBP Chile SpA, 2016). Para el caso de especies nativas, especies dominantes según categoría de precios de leña nativa, se utilizó un promedio ponderado, con ulmo, 20%, canelo, 20% y roble 60%. Para el caso de *Eucalyptus sp.*, se calculó un promedio simple para los valores reportados para *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus nitens*.

Especie	Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	Contenido de Cenizas (%)
<b>Nativo</b>	19,52	0,57
<b>PR</b>	20,13	0,18
<b>Eucalyptus sp.</b>	18,90	0,33

Tabla 30 Propiedades físicas de la biomasa residual

### 9.8 Resultados de Costos de Suministro de Biomasa Disponible

El costo de suministro de biomasa en BN es significativamente mayor respecto a residuos de cosecha de plantaciones forestales y residuos de la industria primaria de la madera como se puede apreciar en la Tabla 31 con los métodos de astillado a orilla de camino y en central de biomasa. Si se considera el precio medio de la biomasa de USD 63/TS, calculado según lo informado por empresas de la región de Los Ríos, en BN el costo de suministro es 41% mayor sin considerar el costo el costo de transporte.

Actividad	Residuos Generales BN	Residuos Leña BN	Residuos Plantaciones Astillado Origen	Residuos Plantaciones Astillado Planta	Aserrín Corteza	Lampazos
<b>Recolección</b>	24,3	-	-	-	25,8	27,5
<b>Producción de Rollizo</b>	38,7	-	-	-	-	-
<b>Apilado de Residuos</b>	-	11,6	12,8	12,8	-	-
<b>Astillado a Orilla de Camino</b>	-	-	19,1	-	-	-
<b>Carguío</b>	3,8	3,8	-	3,8	-	-
<b>Depósito Intermedio</b>	4,3	4,3	-	4,3	4,3	4,3
<b>Astillado Central de Biomasa</b>	17,9	17,9	-	20,8	-	17,9
<b>Costo Total Sin Transporte</b>	89,0	37,6	31,9	41,7	30,1	49,7

Tabla 31 Costos de suministro de biomasa

Tanto los residuos de cosecha de plantaciones forestales como los residuos de la industria primaria de la madera presentan un costo viable para un radio de transporte crítico promedio de 100 km. Las estimaciones muestran que las distancias críticas de transporte más bajas corresponden a los lampazos con 55 km y residuos de plantaciones con astillado en central de biomasa con 90 km. Los otros tipos de biomasa o astilladas a orilla de camino presentan una distancia crítica de 120 km a 150 km como se puede apreciar en la Figura 40 según tipo de oferta de biomasa y en función de la distancia de transporte.

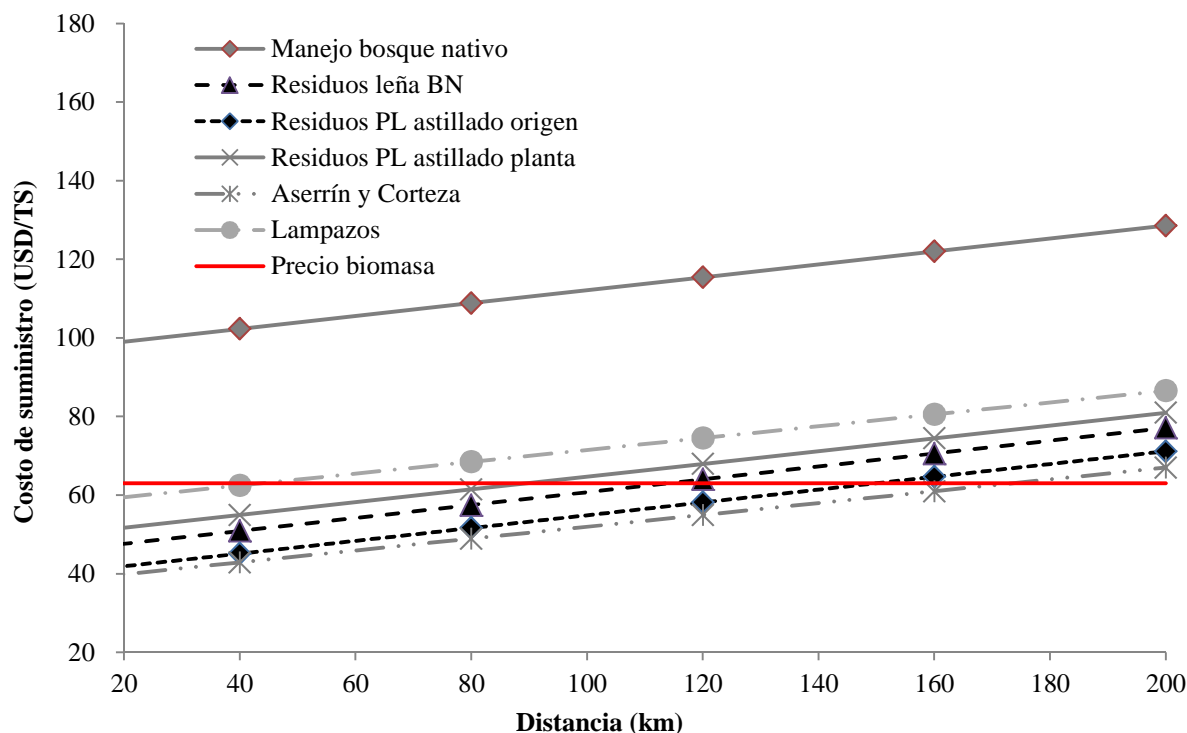


Figura 40 Costo de suministro de biomasa

El costo del transporte de la biomasa varía entre USD 3,27/TS hasta USD 29,74/TS con un promedio de USD 11,81/TS para la totalidad de la oferta. Esto significa que según la fuente el costo de transporte representa entre un 9% y un 18% del costo total de suministro, sin embargo, para una demanda pequeña se puede optar por ofertas más cercanas con costos bajo los USD 10/TS. La Figura 41 muestra el histograma de la oferta relativa según costo de transporte, para el caso específico de empresa Sociedad de Manufacturas Timberni Ltda. sin BN y según flujo anual potencialmente utilizable.

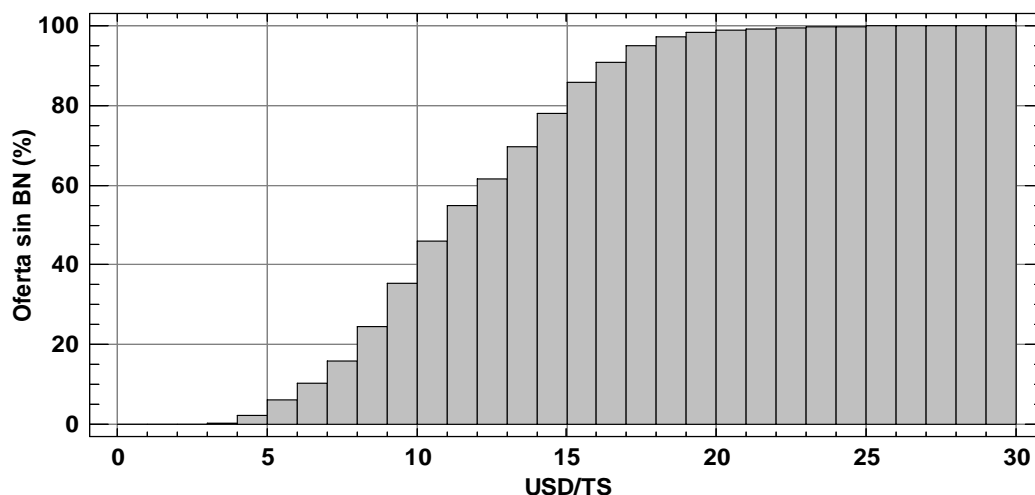


Figura 41 Costo de transporte de biomasa

La distancia de abastecimiento varía según las fuentes, destinos y crece con la magnitud de la demanda. Las distancias medias de abastecimiento teórico, para todas las fuentes de oferta, fluctúan entre los 85 km y 100 km, con distancias máximas que llegan a los 220 km. La empresa Sociedad de Manufacturas Timberni Ltda., aparece con menores distancias para iguales niveles de abastecimiento debido a su localización más central en la región, sin embargo, sacando el BN y analizando el escenario más probable, las distancias de abastecimiento aumentan para un mismo flujo absoluto anual como se puede apreciar en la Figura 42 para la región de Los Ríos.

Las distancias medias fluctúan entre 55 km y 75 km para los centros de demanda localizados en Paillaco, Valdivia y Mariquina. Plantas con consumos pequeños por año podrían abastecerse desde distancias muy convenientes menores de 50 km.

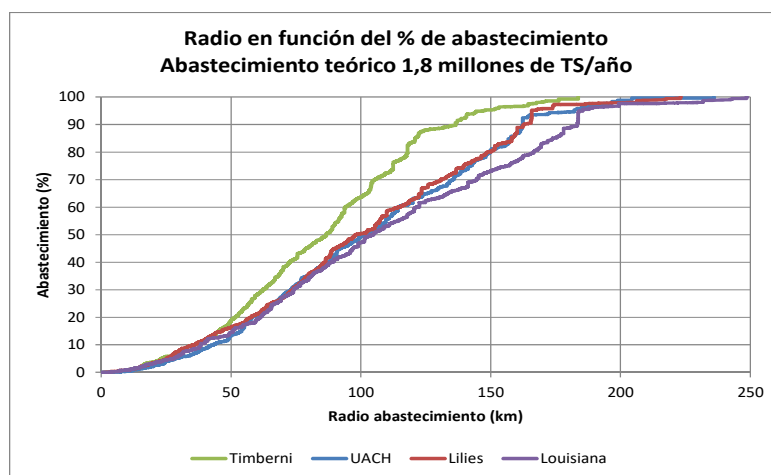


Figura 42 Radios de transporte según nivel de abastecimiento de BN



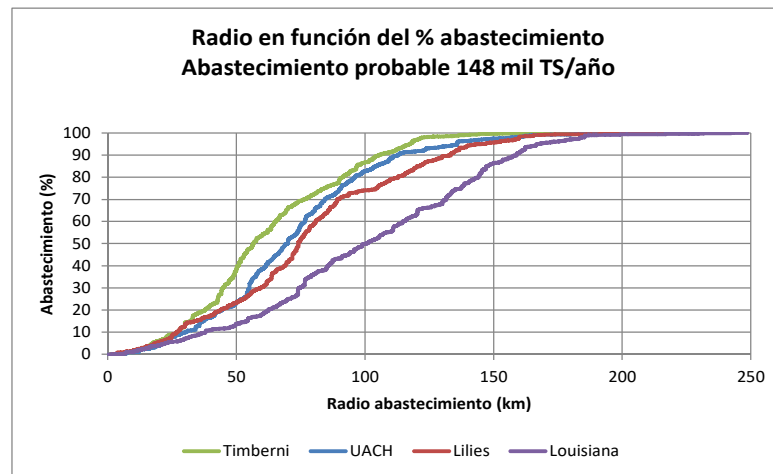


Figura 43 Radios de transporte según nivel de abastecimiento de residuos

### 9.8.1 Flujo Anual de Biomasa según Escenarios de Utilización Potencial

La aplicación de los escenarios de utilización potencial de biomasa provoca una merma importante en la disponibilidad total en la región de Los Ríos, debido principalmente al enorme potencial de biomasa de BN que, bajo las condiciones actuales de costo de suministro y precio de leña como producto sustituto, quedaría fuera como biomasa potencialmente utilizable para nuevos proyectos en el corto y mediano plazo como se puede apreciar en la Tabla 32 que no considera a la gran empresa forestal y considera los escenarios de utilización potencial en la región de Los Ríos.

Tipo de Biomasa	Disponibilidad Total, Teórica (TS/año)	Escenario Optimista (TS/año)	Escenario Pesimista (TS/año)	Escenario Probable (TS/año)
<b>Residuos Generales BN</b>	1.469.640	0	0	0
<b>Residuos Leña BN</b>	39.192	15.677	3.919	9.798
<b>Residuos Cosecha PR</b>	27.923	19.546	8.377	13.962
<b>Residuos Cosecha <i>Eucalyptus</i> sp.</b>	218.468	152.928	65.541	109.234
<b>Aserrín y Corteza</b>	29.268	11.707	2.927	7.317
<b>Lampazos</b>	32.520	13.008	3.252	8.130
<b>Total, General</b>	1.817.012	212.866	84.016	148.441

Tabla 32 Disponibilidad teórica total de residuos de madera

No obstante, siempre habrá algunos propietarios que verán la venta de biomasa como una oportunidad para manejar sus bosques, por lo cual estarían dispuestos a vender a un menor precio, renunciando hoy al ingreso por valor de la madera en pie y apostando a los mayores beneficios correspondientes con un bosque futuro de mejor calidad.

La disponibilidad teórica de desechos de cosecha de plantaciones de *Eucalipto sp.* se aprecia como el segundo en importancia y el primero en los escenarios de utilización potencial. Esta situación se estima sostenible en el tiempo, aun cuando se observa que pequeñas y medianas empresas de leña en los últimos años han comenzado a utilizar el metro ruma como base de la venta de leña debido a que es más barato como materia prima en comparación a la leña larga en formato metro estéreo. Lo anterior se explica por el incremento sostenido en los precios de leña.

Si bien los escenarios pueden calificarse como demasiado conservadores en el caso de leña de BN, esto se debe a que será una innovación en el proceso productivo que requiere de tiempo hasta una plena adopción. La disposición a participar por parte de los productores es por ahora limitada.

Para el aprovechamiento de desechos de cosecha de plantaciones e industrias de la madera existe mayor experiencia, aunque el factor precio será determinante en su incorporación a la generación de calor. Los escenarios toman sólo una parte de la disponibilidad para resguardar la incertidumbre que genera variaciones en el autoconsumo y uso de los desechos para otros productos secundarios, por ejemplo, la producción de biocombustibles sólidos.

### 9.8.2 Estabilidad en los Flujos Anuales de Biomasa Potencial

Otro aspecto de legítima preocupación es la estabilidad del flujo de residuos en el tiempo. La estabilidad del flujo anual depende de la fuente. Se estima que los flujos provenientes de residuos de producción de leña, BN y los desechos de industrias de la madera serán relativamente constantes y ligeramente crecientes en los próximos años, sin embargo, los desechos de plantaciones tendrán fuertes fluctuaciones relacionadas con la dispar distribución de superficies por clases de edad como se puede apreciar en la Tabla 33, la Tabla 34 y representado gráficamente en la Figura 44 y la Figura 45.

Rango Edad (años)	Polígonos de Oferta	Superficie (ha)	Flujo Teórico Desechos a la Edad de Cosecha (TS/periodo)	Flujo Anual Teórico Años de Cosecha (TS/año)	Años de la Oferta
1 – 5	1.241	4.111	193.230	96.609	2027 – 2028
6 – 10	1.369	9.236	434.120	217.055	2025 – 2026
11 – 15	8.173	23.761	1.116.830	558.393	2023 – 2024
15 – 20	1.005	7.014	329.670	164.829	2021 – 2022
> 20	399	2.358	110.850	55.424	2019 – 2020
<b>Total</b>	12.187	46.481	2.184.680	218.468	10 años

Tabla 33 Distribución de superficie de plantaciones de *Eucaliptus sp.*

El exceso de disponibilidad de aquí a cinco años, producto de la mayor superficie de plantaciones en edades medias, generará una sobre oferta con una posible caída de precios. Los flujos futuros pueden regularse adelantando o postergando cosechas para el caso de grandes empresas forestales. En el escenario pesimista, los períodos de baja disponibilidad pueden afectar la oferta para biomasa energética a proyectos basados únicamente en *PR*.

Rango Edad (años)	Polígonos de Oferta	Superficie (ha)	Flujo Teórico Desechos a la Edad de Cosecha (TS/periodo)	Flujo Anual Teórico Años de Cosecha (TS/año)	Años de la Oferta
1 – 5	1.774	4.336	12.0545	30.136	2035 – 2038
6 – 10	97	432	12.012	3.003	2031 – 2034
11 – 15	5.396	11.882	330.317	82.579	2027 – 2030
15 – 20	128	427	11.863	2.966	2023 – 2026
> 20	533	3.012	83.733	20.933	2019 – 2022
<b>Total</b>	<b>7.928</b>	<b>20.089</b>	<b>558.470</b>	<b>27.923</b>	<b>20 años</b>

Tabla 34 Distribución de superficie de plantaciones de *PR*

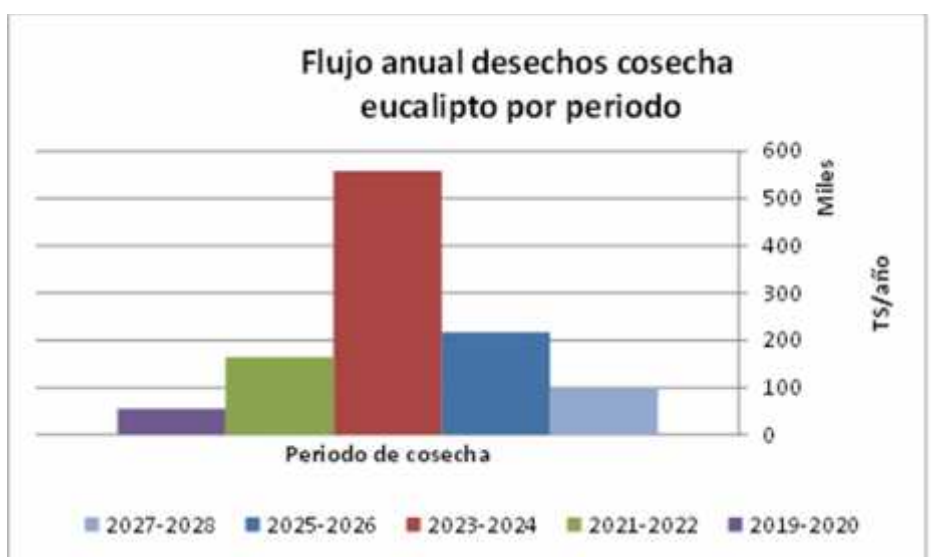


Figura 44 Flujo anual de residuos de cosecha de plantaciones de *Eucalyptus sp.*

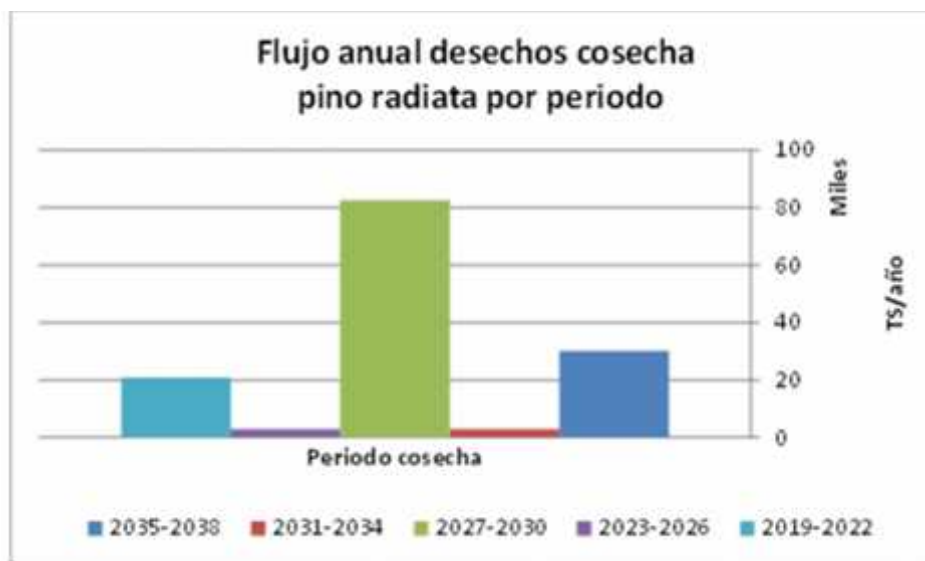


Figura 45 Flujo anual de residuos de cosecha de plantaciones de *PR*

### 9.8.3 Análisis de Costos Marginales

El costo de suministro de biomasa para plantas de cogeneración o calor en la región de Los Ríos según la fuente, distancia de abastecimiento y volumen demandado, varía entre USD 34/TS y USD 73/TS para desechos de leña, cosecha de plantaciones e industrias de la madera y entre USD 92/TS y USD 122/TS para biomasa de BN como se puede apreciar en la Figura 46. Este último tipo de biomasa presenta un costo considerablemente mayor al resto, lo cual no permite su consideración a ser usada para proyectos de biomasa.

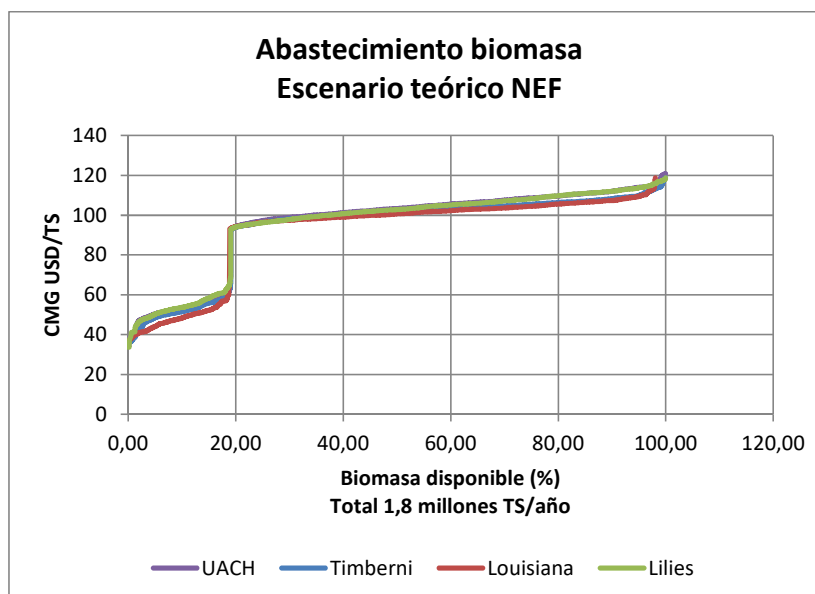


Figura 46 Curva de costos marginales según requerimientos de suministro

Para apreciar mejor las diferencias entre destinos se segrega el abastecimiento de BN de las otras fuentes como se puede apreciar en la Figura 47 y la Figura 48.

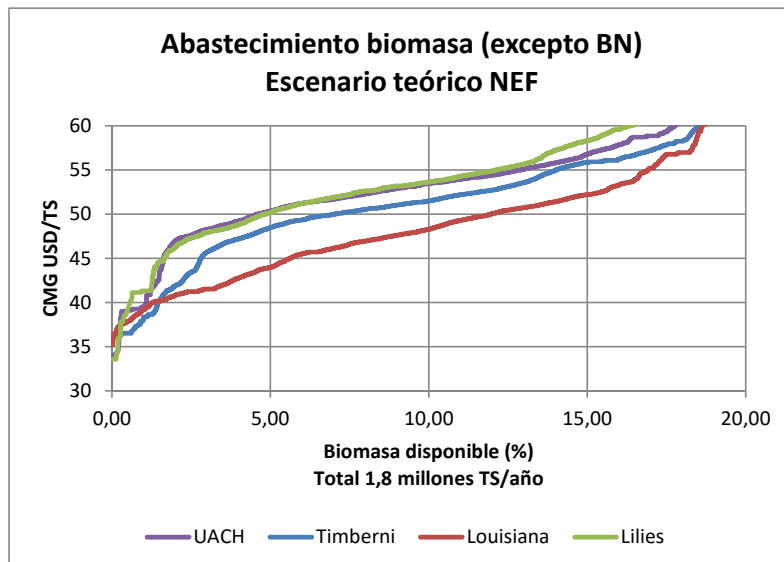


Figura 47 Costos de suministro de biomasa residuos

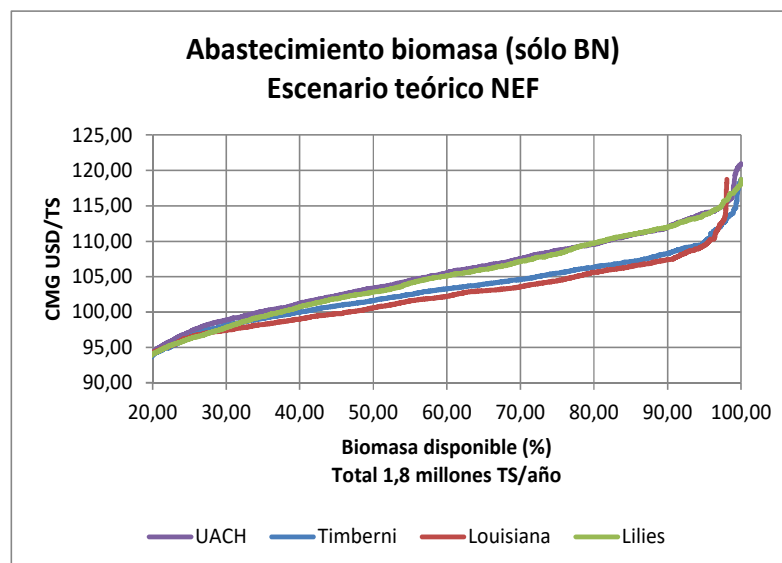


Figura 48 Costos de suministro de biomasa BN

La oferta de biomasa tiene una expresión espacial. La Figura 49 muestra esta oferta según niveles de costo de abastecimiento. Los resultados indican que existe biomasa potencialmente disponible a un costo de suministro competitivo para proyectos con consumos menores a 30.000 TS/año, en cuyo caso se alcanza un costo marginal de suministro de biomasa menor a USD 50/TS. Estos valores, presentados en la Tabla 35, serán usados para la evaluación de los proyectos de estudio de prefactibilidad considerados en este estudio como los escenarios de utilización más probables.

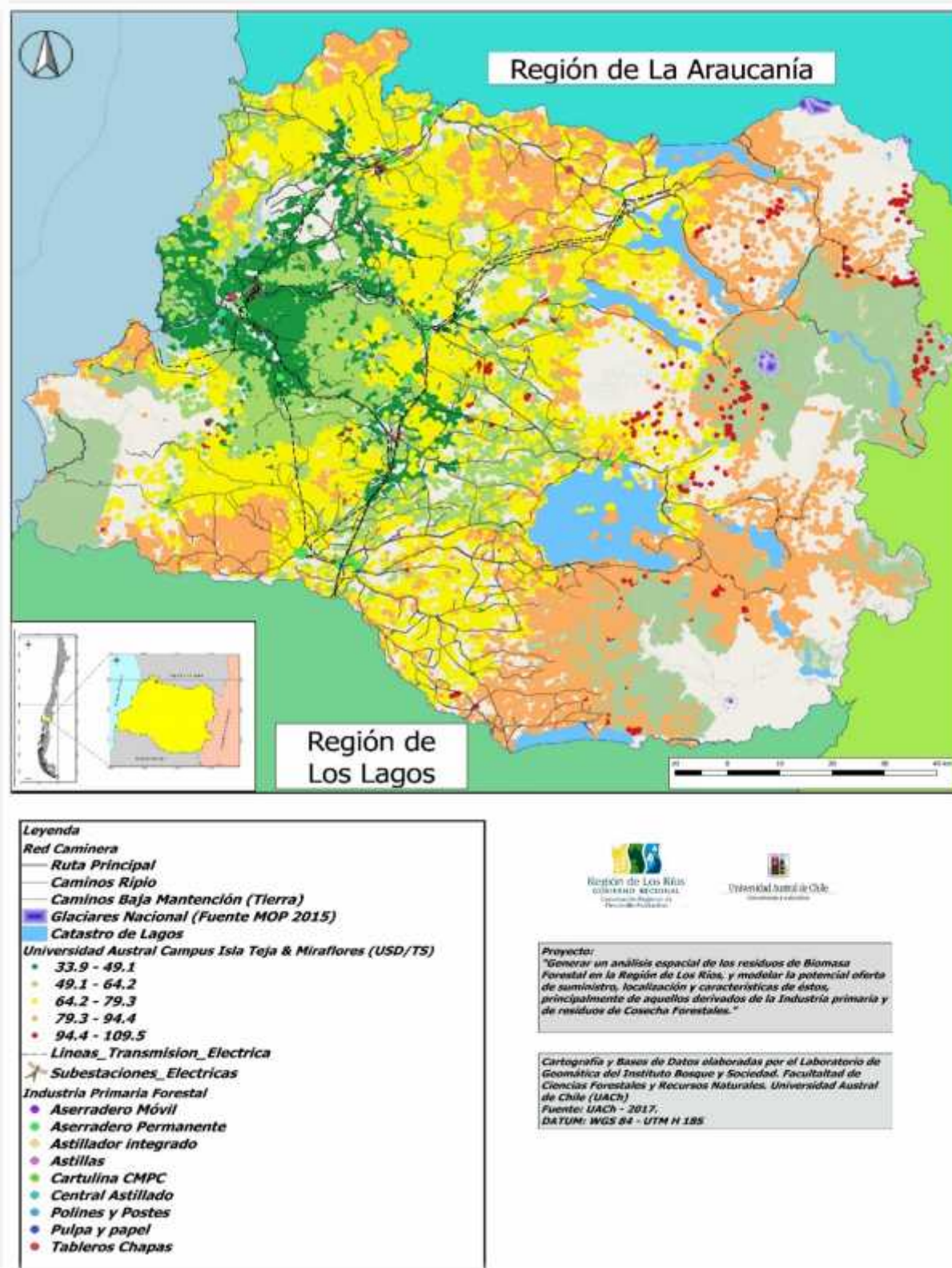


Figura 49 Costos de abastecimiento de biomasa por polígono por rangos en USD/TS



Nivel de Precio en Planta (USD/TS)	Disponibilidad Biomasa Probable (TS/año)			
	Paillaco	Valdivia	Panguipulli	San José de La Mariquina
< 40	5.183	4.968	15.672	2.592
< 50	49.437	31.935	95.371	33.560
< 60	138.902	139.862	139.808	129.864
< 100	141.026	148.488	148.409	148.310

Tabla 35 Disponibilidad de biomasa por rango de costos de suministro

Este análisis del escenario más probable muestra que proyectos desarrollados en la ciudad de Valdivia podrían tener suficiente abastecimiento pagando sólo USD 40/TS. Asimismo, considerando el precio actual de la biomasa de USD 63/TS, existirían en promedio 137.109 TS/año como flujo potencial que podrían abastecer a las comunas de Valdivia y Paillaco a un costo bajo el umbral de precios. En síntesis, las estimaciones de costos señalan que alrededor del 15% a 18 % de la disponibilidad teórica total de biomasa en la región de Los Ríos puede ser utilizada a un costo bajo el umbral de precio actual. El análisis de las fuentes de oferta confirma que, en todos los casos analizados, el suministro de aserrín y corteza de industrias de la madera es el más conveniente y el de BN el menos favorable. Los residuos de la producción de leña, los residuos de cosecha de plantaciones forestales y utilización de lampazos ocupan los lugares intermedios como se puede apreciar en la Figura 50.

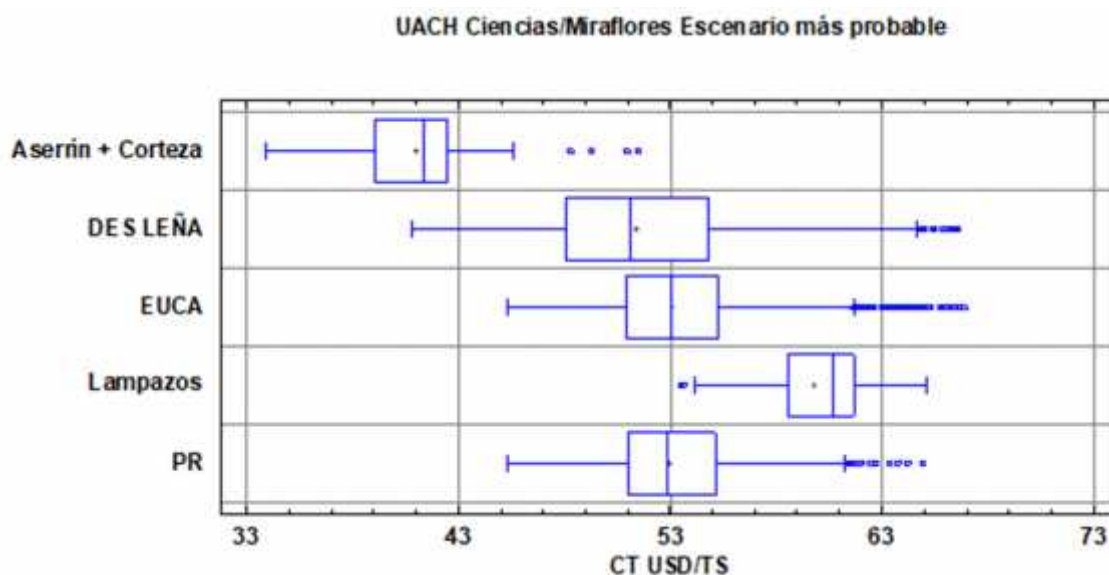


Figura 50 Costos de suministro según fuente de oferta de biomasa

## 9.9 Conclusiones

- J El estudio confirma la disponibilidad de biomasa de residuos de la producción de leña, de residuos de cosecha de plantaciones forestales y residuos de la industria primaria de la madera, en cantidades suficientes y a costos competitivos con otros combustibles para desarrollar proyectos de pequeña y mediana escala usando biomasa, por ejemplo, con necesidades de suministro menor a 30.000 TS/año.
- J Los resultados confirman que el aprovechamiento de BN exclusivamente para biomasa con fines energéticos no es viable económicamente por condiciones físicas como fragmentación de la oferta y dispersión respecto de los centros de consumo, y también debido a los mejores precios de combustibles alternativos como la leña.
- J El aprovechamiento de los residuos de la producción de leña o de otro producto superior que pague los costos de accesibilidad predial y parte de la cosecha, aparece como opción viable, sin embargo, corresponde a una actividad no realizada hasta el momento y por lo tanto su adopción requerirá esfuerzos importantes de información y capacitación. Este escenario abre además la posibilidad de entrada de nuevos actores intermediarios para gestionar esta biomasa.
- J El escenario de astillado a orilla de camino es la opción más conveniente para residuos de cosecha, residuos de producción de leña y lampazos. Este método se basa en aprovechar las condiciones ambientales favorables para disminuir el contenido de humedad de la biomasa durante un tiempo de apilado en el predio, antes del astillado y no requiere de inversión en almacenamiento. La recolección mecanizada de residuos se lleva a cabo en superficies mayores a 25 ha para compensar el elevado costo que significa el traslado de equipos.
- J El escenario de astillado centralizado o en planta se presenta como una estrategia relevante para la recolección de residuos en faenas de pequeña o mediana escala, menor a 25 ha, en donde no sea posible realizar el astillado en predio por razones de accesibilidad. Además, puede generar economías de escala en procesos, en poder de negociación, y facilita asegurar un stock suficiente de biomasa cuando el consumidor necesita un suministro frecuente y constante por razones de espacio.
- J La utilización de los desechos de la industria de la madera, tipo aserrín y corteza, se presentan como la biomasa económicamente más conveniente para proyectos biomásicos de pequeña y mediana magnitud.



- ) Pequeños consumidores ubicados en localidades distantes no compiten entre sí, ya que cada uno preferirá proveedores más cercanos, priorizando aquellos dentro de un radio de transporte de 50 km.
- ) La biomasa residual tiene otras opciones de uso como la fabricación de tableros, biocombustibles sólidos y leña, no obstante, la disponibilidad teórica de biomasa en la región de Los Ríos sugiere que no existe riesgo de competencia en el corto y mediano plazo entre usos tradicionales de la madera con potenciales nuevos proyectos usando biomasa.
- ) Finalmente, y respecto de las estimaciones de disponibilidad teórica y de los escenarios de utilización potencial, las principales incertidumbres están relacionadas con el número de productores que estarán dispuestos a participar en un nuevo mercado de suministro de biomasa. En circunstancias en que aún no existe un costo de oportunidad nítido, sobre todo para el productor de leña, queda la duda si éste estará dispuesto a traspasar sin beneficio sus residuos. Respecto de la industria primaria de la madera también existe incertidumbre en relación con las disponibilidades futuras reales de residuos, considerando que éstas actualmente utilizan una fracción para autoconsumo. Todas estas incertidumbres tienen relación principalmente con el estado incipiente del mercado de la biomasa en la región de Los Ríos.

## 10. Evaluación de Alternativas Tecnológicas

La evaluación de alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de la biomasa forestal residual ha sido contextualizada primero que todo entendiendo que dicha biomasa es utilizada, una vez se ha valorizada, dentro de un marco de aprovechamiento que afecta la matriz energética, tanto nacional como internacional y que para su aprovechamiento se debe revisar todo el proceso desde su obtención hasta su uso final como energético. Esta sección ha sido segregada de tal forma que todos los aspectos mencionados son cubiertos para generar un proceso de evaluación acorde, sin embargo, las opciones más comunes del proceso de evaluación que se desarrollan en esta sección, que son las más viables y afines respecto al público objetivo del estudio son presentadas.

El pellet y la briqueta son dos de los biocombustibles sólidos más demandados últimamente a nivel residencial, sin embargo, a nivel industrial no presentan un gran consumo por el valor agregado que conlleva su producción. La consideración de producir estos biocombustibles se presenta como la mejor opción para aquellas industrias, tales como aserraderos de menor tamaño en donde la cantidad de biomasa forestal residual no es la suficiente para pensar, por ejemplo, en la implementación de plantas de cogeneración.

La cogeneración es un proceso en el cual la fuente de energía primaria es aprovechada en más de una forma, por ejemplo, en la producción de energía eléctrica y/o mecánica y el aprovechamiento de energía térmica. (García Rojas and Sosa Moreno, 2010).

Calefacción distrital, es un tipo de calefacción domiciliaria en donde una central térmica o de producción de calor distribuye este calor a los constituyentes de un sector que forman parte de una red. Constituyentes pueden ser edificios, casas poblacionales o una ciudad dependiendo de las capacidades de la planta (UDT, 2013; UNTEC, 2014).

Una característica común de estas tres alternativas es la gran capacidad de disminuir la formación de Gases de Efecto Invernadero, GEI, y Material Particulado, MP.

## 10.1 Contexto Energético Nacional e Internacional

Si bien esta información fue presentada y analizada en el Informe 1 de este estudio, en este Informe se vuelve a presentar para contextualizar la importancia de la biomasa y de las tecnologías asociadas para su uso.

Tres fenómenos han marcado el contexto internacional energético del último periodo; primero, una tendencia a los avances tecnológicos en el área de las energías renovables, segundo, una disminución en el consumo de combustibles fósiles y tercero, una constante preocupación por lograr la disminución substancial de emisiones de gases de efecto invernadero y sustancias relevantes (Ministerio de Energía, 2016). Estos fenómenos afectando en su conjunto a la forma en que la energía se transforma y se transmite considerando integraciones energéticas regionales asumiendo nuevas grandes demandas y la eficiencia que esto conlleva.

Analizando y comparando la matriz energética primaria internacional respecto a los combustibles consumidos a nivel nacional, el uso de combustibles fósiles, carbón y leña y biomasa es más alto, pero para el caso específico de la leña y de la biomasa, el uso a nivel nacional supera en más de un 20% el uso a nivel internacional. Los combustibles fósiles son casi en su totalidad importados (Ministerio de Energía, 2016).

Analizando y comparando la matriz energética secundaria o de consumo final, el consumo eléctrico ha aumentado pero viéndose a su vez una disminución en el consumo de combustibles fósiles para su generación (Ministerio de Energía, 2016).

La CNE, en su reporte anual, provee más datos para análisis del sector energético Nacional, por ejemplo se puede mencionar que la biomasa forestal y la leña son considerados un energético primario, los cuales pueden ser transformados para la obtención de energía eléctrica o para la generación de energía térmica de uso industrial (Comisión Nacional de Energía, 2016). Del reporte anual, se puede desprender que un 22.6% de la oferta de energía primaria depende de la biomasa, un 15% del consumo final, según tipo de energético, fue generado en base a biomasa en formato leña. Cuando se considera a la región de Los Ríos, un 63% de la energía que se consume proviene de biomasa y que los principales consumidores de energético son industrias, con un 39%, transformación en base a una fuente primaria, con un 28% y uso Comercial, Público y Residencial, CPR, con un 20% (Comisión Nacional de Energía, 2016).

En la actualidad la generación eléctrica en Chile sigue siendo mayoritariamente en base a carbón, pero teniendo en las fuentes renovables como la hidroeléctrica, dependiendo del año hidrológico, solar, eólica y biomasa las fuentes que han mostrado una mayor alza (Ministerio de Energía, 2016).

En los últimos años se ha visto una penetración de ERNC, especialmente en la zona norte siendo la eólica y la solar las más influentes. Un aumento de más de 2.000 MW producidos se ha visto reflejado desde el año 2005 para estas fuentes energéticas, lo que se tradujo en una producción del 10% Nacional en el año 2015 (Ministerio de Energía, 2016).

En noviembre del año 2017, oficialmente el SIC y el SING se conectaron formando un único sistema de distribución llamado Sistema Eléctrico Nacional, SEN, que agrupa a todas las generadoras mencionadas previamente abasteciendo un 97% del país. Respecto a ERNC, la capacidad de las plantas instaladas actualmente es de 3.990 MW con un 99,3% interconectado al SEN y el resto distribuido a otros sistemas, pero sin un mayor impacto porcentual (Comisión Nacional de Energía, 2017). La capacidad instalada respecto a ERNC corresponde a un 17% del total Nacional donde la biomasa solo cubre un 2% de este total instalado.

## **10.2 Biomasa Forestal en Chile**

Una vez considerado desecho, la biomasa forestal se transformó en energía aprovechable por las empresas forestales que la generaban, dicha energía en la forma de calor o de electricidad dependiendo de las capacidades de generación y de los sistemas asociados a su producción forestal. La biomasa forestal proviene del aprovechamiento residual de los procesos forestales. Se encuentra mayoritariamente dispersa en el terreno donde se produce lo que dificulta su extracción para su aprovechamiento.

La generación de biomasa forestal conlleva una serie de procesos de pretratamiento y transformaciones para poder ser aprovechada energéticamente en forma eficiente. Algunas de las características específicas y circunstanciales de la biomasa forestal son; el gran tamaño de las piezas o la granulometría, heterogeneidad, poca uniformidad, elevado contenido de humedad, reducida densidad, dispersión de los residuos, dificultad para su transporte y manipulación y la presencia de residuos no aprovechables tales como arena, piedras, metales y otros (Agencia Extremeña de la Energía, 2008).

### **10.2.1 Aporte de Biomasa en la Matriz Energética**

Cuando se analiza que la biomasa forestal está asociada a la operación de empresas de este rubro, sus ventajas adquieren más significado ya que representan la capacidad de las industrias de autoabastecerse energéticamente, aunque este autoabastecimiento dependa de las capacidades en cuanto a tamaño y requerimientos de servicio, como por ejemplo la producción de celulosa, que requiere un alto consumo energético. Esta información fue presentada en Informe 1 (IBOS-FCI, 2018)

de este estudio y es presentada nuevamente sólo como referencia y poder mantener la concordancia de los objetivos que busca este Informe.

En el año 2014, un estudio realizado por el Ministerio de Energía, CONAF, y la UACH, logró cuantificar que, entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos, existe un potencial de instalación de 2.129 MW gracias a la superficie potencialmente aprovechable con fines energéticos en base a biomasa (LIGNUM, 2017).

La Tabla 36, muestra la diversificación de las centrales de bioenergía forestal entre las regiones de O'Higgins y de Los Ríos, en donde la materia prima usada corresponde a biomasa forestal pero también considerando el uso de biomasa vegetal, siendo la biomasa forestal los residuos de las propias industrias forestales.

Región	Empresa	Nombre Central	Total (MW)
<b>de O'Higgins</b>	Energía Pacífico	Central Energía Pacífico	16
<b>del Maule</b>	Arauco Bioenergía	Celco-Constitución	40
		Licancel	29
		Viñales	41
	AES Gener S.A.	Constitución	9
<b>del Bío-Bío</b>	Arauco Bioenergía	Arauco	127
		Cholguán	29
		Nueva Aldea I	30
		Nueva Aldea III	136
	Bioenergías Forestales	Santa Fe	220
		Central Laja	25
	Masisa S.A.	Masisa	11.1
	AES Gener S.A.	Laja	13
	Eléctrica Nueva Energía S.A.	Escuadrón (Ex FPC)	15
	Energía León S.A.	Coelemu	7
<b>de La Araucanía</b>	Bioenergías Forestales	Pacífico	41
	Comasa S.A.	Bioenergía Lautaro	25
		Lautaro 2	22
<b>de Los Ríos</b>	Arauco Bioenergía	Valdivia	140

Tabla 36 Potencia instalada de centrales de bioenergía forestal en Chile (LIGNUM, 2017)

### 10.2.2 Energía de la Biomasa

Al conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza se le denomina biomasa y desde el punto de vista energético, se le denomina una fuente de energía renovable basado en el uso de su materia orgánica en diferentes estados. Se le considera renovable por su contenido energético cuya denominación se consideran biocombustibles, los cuales pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos. La generación del tipo de biocombustible dependerá del requerimiento para sus posteriores usos (Loaiza Navarro, 2015).

Usando la biomasa y su capacidad de transformación en biocombustibles mediante diferentes procesos permite la obtención de una gran diversidad de éstos que se pueden adaptar a todas las áreas de uso actual cuando se comparan con combustibles tradicionales. Tabla 37 presenta los distintos tipos de biocombustibles generados a partir de biomasa forestal y algunas de sus más representativas características. Estas características no están estandarizadas ya que los distintos procesos, materias primas y catalizadores permite lograr biocombustibles con mejores propiedades, por lo tanto, los valores son sólo referenciales. Para poder obtener valores específicos se debe seguir un protocolo donde la materia prima es preparada, se caracteriza física y químicamente para poder obtener una caracterización energética de donde se puede obtener, por ejemplo, valores de sus poderes caloríficos (DMT, 2010; Staffell, 2011).

Tipo	Biocombustible	Poder Calorífico (MJ/kg) <sup>14</sup>	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de Humedad	Cenizas
Sólidos	Astillas	18,8	250	50%	0.2%
		19,8	350		0.5%
	Aserrín	18,0	150	54%	0.5%
		21,0	167		2.0%
	Pellets	16,9	980	10%	0.7%
		22,2	1150		
Líquidos	Briquetas	18,8	980	18%	0.5%
		19,8	1150		
	Leña	18,8	550	25%	1%
		19,8	650		
	Carbón Vegetal	29,3	170	5%	0.5%
		30,5	350		
Gaseosos	Bioetanol	26,8	790	-	-
		29,0			
	Biodiesel <sup>15</sup>	35,0	860	-	0.01%
		40,0	900		0.02%
	Biogás	4,7	1.16	-	-
		5,2	1.27		
	Hidrogeno	120,0	0.0899	-	-
		141,0			

Tabla 37 Propiedades fisicoquímicas de los biocombustibles (DMT, 2010)

) Biocombustibles Sólidos: Básicamente biocombustibles tales como astillas, aserrín, pellets y briquetas generados a partir de residuos forestales y vegetales tales como cortezas, lampazos y

<sup>14</sup> Valores referenciales corresponden a los mínimos y máximos y son valores promedios considerando las distintas especies de biomasa forestal revisadas en este estudio. El porcentaje de humedad fue considerado desde el 55% hasta estado anhidrido.

<sup>15</sup> Biocombustible de segunda generación ya que usa biomasa forestal como materia prima para su generación.

aclareos de las masas forestales. La leña entra también en esta categoría junto con el carbón vegetal que resulta del tratamiento térmico con bajo contenido en oxígeno.

- J) Biocombustibles Líquidos: Básicamente biocombustibles usados como reemplazo de los combustibles líquidos derivados del petróleo o como aditivos para su posterior uso. Los más comunes son el bioetanol y el biodiesel.
- J) Biocombustibles Gaseosos: Básicamente biocombustibles usados como reemplazo de los combustibles gaseosos derivados del petróleo o como aditivos para su posterior uso. Los más comunes son el biogás, hidrógeno y gases generados en un gasógeno<sup>16</sup>.

La composición química de la biomasa forestal es de suma importancia porque permite una estimación de las capacidades de formación de GEI y MP, pero estos antecedentes serán desarrollados posteriormente en la sección de control de emisiones y los efectos de la combustión de biocombustibles generados a partir de biomasa forestal.

### 10.2.3 Ventajas de Utilizar Biomasa

Desde el punto de vista ambiental, el uso de biomasa supone una generación neutra de Dióxido de Carbono, CO<sub>2</sub>. La combustión de ésta genera CO<sub>2</sub>, pero ésta a su vez fue captada previamente por el recurso forestal previo a ser convertida en biomasa por lo que el proceso de combustión de ésta no supone un incremento neto de CO<sub>2</sub>. El azufre no está contenido en la biomasa por lo que las emisiones de óxidos de azufre, SO<sub>x</sub>, son nulas. Los elementos minerales de las cenizas resultantes del proceso de combustión tales como el fósforo y el potasio pueden ser usadas como fertilizantes (Loaiza Navarro, 2015).

Desde el punto de vista económico, el uso de biomasa supone una disminución en la dependencia del abastecimiento de combustibles fósiles, favoreciendo la participación y un crecimiento industrial del sector agrícola.

### 10.2.4 Aplicaciones de la Biomasa

Respecto a su uso como biocombustible, dos son las aplicaciones más recurrentes de la biomasa; aplicaciones térmicas y producción de electricidad.

Aplicaciones térmicas se refiere principalmente a la generación de calor ya sea para uso como calefacción por medio de estufas y calderas y para su uso como medio de calefacción para ACS. En el

---

<sup>16</sup> Aparato que permite obtener, gracias a la gasificación, combustible gaseoso a partir de combustibles sólidos.

caso de las calderas, calor en forma de vapor. En ambos casos considerando aplicaciones domesticas individuales como también aplicaciones domesticas en red, estas últimas aplicaciones, conocidas como calefacción distrital. Otra aplicación térmica incluye el propio uso de la biomasa forestal como energético en los procesos industriales de las forestales que incluye calefacción, agua caliente industrial y la producción de celulosa.

Aplicaciones para la producción de electricidad incluyen el uso de las aplicaciones térmicas, específicamente de calderas, cuyo calor generado en forma de vapor es usado como medio de accionamiento de turbinas que acopladas a un generador producen energía eléctrica. El uso de esta electricidad es mayoritariamente para el uso de las propias industrias forestales, pero también en cierta medida, como fue presentado anteriormente, para abastecer al SEN.

La combinación de aplicaciones térmicas y eléctricas se conoce como cogeneración siendo esta aplicación muy común en las grandes industrias forestales.

La Figura 51 presenta el diagrama de valorización de la biomasa forestal para sus posibles usos, desde su preparación para ser transformado a biocombustible procesado hasta su uso, mediante determinados procesos de transformación.

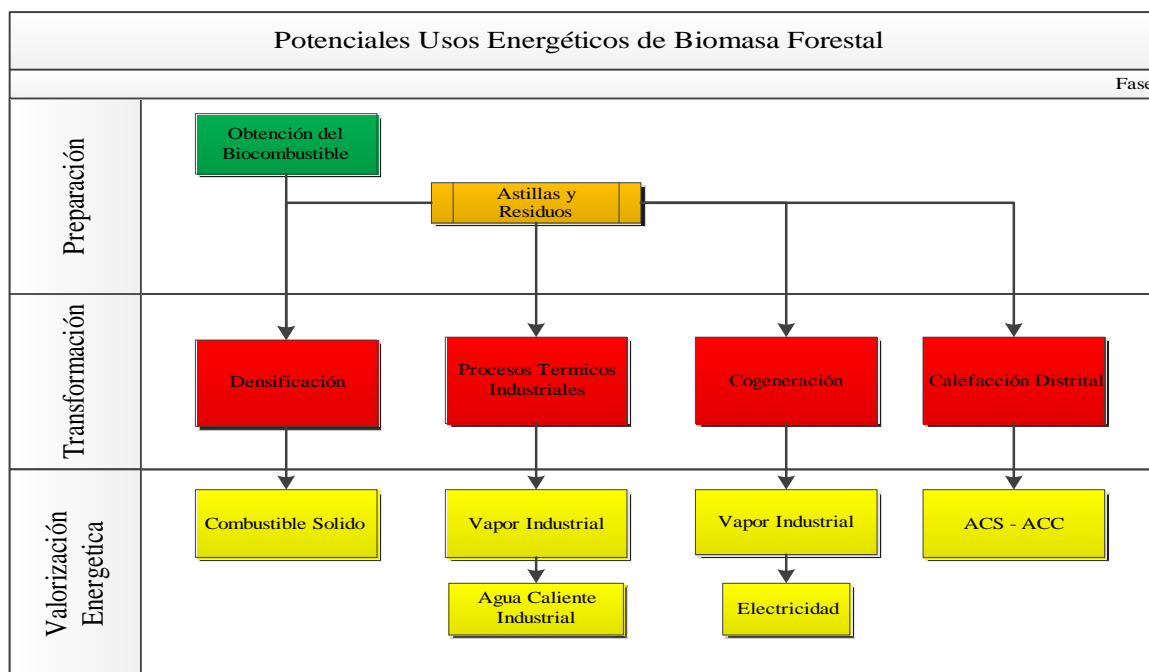


Figura 51 Potenciales usos energéticos de biomasa forestal



La preparación incluye el acopio de la biomasa forestal, considerando su secado, limpieza y tratamiento mecánico básico como el chipecado y/o astillado, que permite disponer de este energético primario en condiciones de poder ser utilizado en el proceso de transformación seleccionado.

La transformación incluye procesos mecánicos tales como la pelletización y/o briquetado, comúnmente denominados como procesos de densificación de biomasa, también incluye procesos termoquímicos, para transformar el energético primario que permite su valorización. Los procesos termoquímicos serán presentados posteriormente en detalle.

Valorización energética a partir del energético primario, donde se genera el energético secundario como resultado de los procesos anteriores, que permiten obtener un formato de energía útil, con valor agregado, para procesos industriales o domiciliarios.

El proceso general de conversión de la biomasa forestal para su uso en la generación de energía considera cinco fases tal como se puede apreciar en la Figura 52 dichas fases en concordancia con los procesos de preparación, transformación y valorización energética presentados previamente. Las fases interconectadas donde el resultado de cada una es la entrada de la fase siguiente. La distribución de la energía es una fase en la cual el energético es distribuido de acuerdo con su valorización, tales como electricidad al SEN y procesos industriales tales como plantas de celulosa.

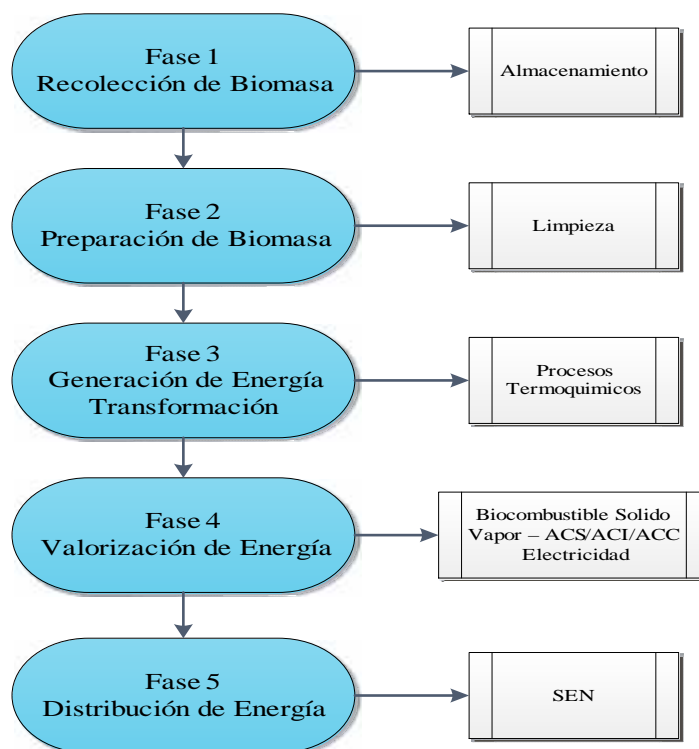


Figura 52 Fases de conversión de biomasa forestal para su uso energético

### 10.2.5 Recolección de la Biomasa

Proceso dependiente de la localización de los residuos forestales que se consideran a usar. Los residuos forestales más comunes son los desechos de la cosecha forestal, desechos industriales y al manejo sustentable del BN. En cualquiera de los tres casos, cuatro sub-etapas son necesarias a considerar, rombos en Figura 53; acopio al punto de recolección, triturado de los residuos forestales y transporte a planta de generación, donde se incluye antecedentes de maquinaria cuando se trata de actividades de recolección en plantaciones, óvalos superiores e inferiores en Figura 53. El proceso final de descarga es dependiente del tipo de uso de la biomasa.

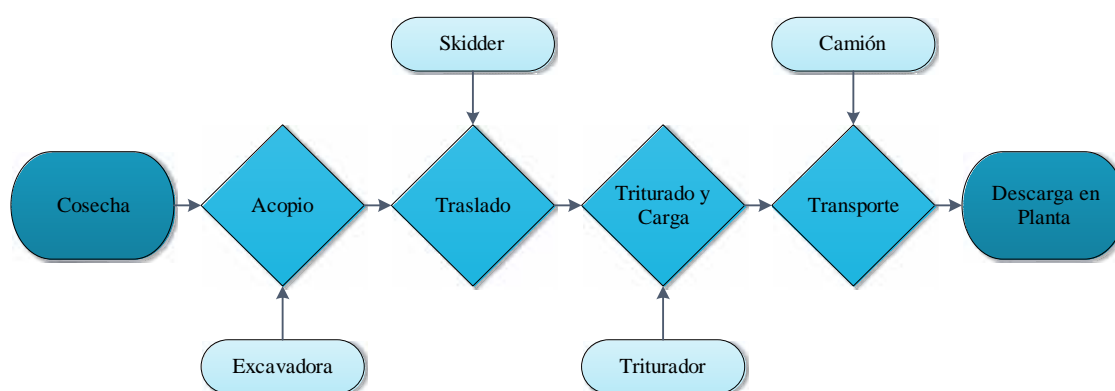


Figura 53 Proceso de recolección de biomasa (Loaiza Navarro, 2015)

Las subetapas del proceso de recolección de la biomasa forestal se pueden apreciar con mejor detalle en las Figura 54 y Figura 55 que representan dos esquemas de recolección que dependen de un análisis del proceso integral de la mejor opción de recolección de biomasa forestal.

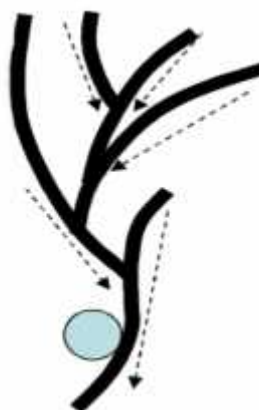


Figura 54 Esquema de recolección centralizado (Loaiza Navarro, 2015)

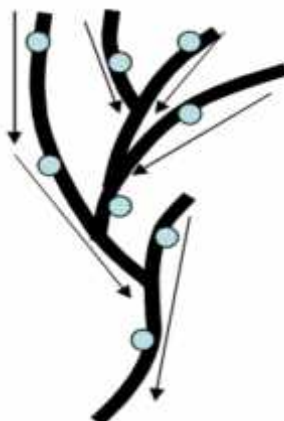


Figura 55 Esquema de recolección descentralizado (Loaiza Navarro, 2015)

Un proceso no mencionado pero que ha adquirido significancia es el uso de empaquetadores de biomasa. Estas máquinas logran una densificación de la biomasa para mejorar las capacidades de transporte desde lugares de acopio hasta las plantas donde posteriormente son trituradas y acondicionadas para sus diferentes usos como fue descrito previamente. La Figura 56 muestra este proceso lográndose apreciar un significativo aumento en las capacidades de transporte de la biomasa.



Figura 56 Acopio/transporte biomasa empaquetada (Agencia Extremeña de la Energía, 2008)

### 10.2.6 Preparación de la Biomasa Sólida

La preparación de la biomasa busca acondicionar sus características para poder mejorar su valorización como biocombustible. La preparación se efectúa antes del transporte logrando una reducción de los costos de éste. La preparación incluye; la reducción de la granulometría en donde se utilizan sistemas de astillado, triturado, molienda, cribado, tamizado y disgregación, y reducción de la humedad mediante secado natural y secado forzado.

Una subdivisión del proceso de preparación de la biomasa considera; el sistema de recepción, el procesamiento, las áreas de almacenamiento y el transporte al lugar de conversión.

El sistema de recepción considera el transporte al lugar de acopio, la carga y descarga de la biomasa. El tamaño y la selección del sistema de recepción dependerá de la cantidad de biomasa a transportar. Camiones es el medio de transporte más comúnmente usado teniendo en cuenta otros sistemas de transporte dentro de las plantas donde se trata la biomasa donde se puede encontrar camiones de menor tamaño, camiones tolva, remolques y correas transportadoras como los más importantes.

Las áreas de almacenamiento consisten en poder solventar el abastecimiento mínimo de consumo diario de la planta de generación de energía, de acuerdo con la tecnología y procesos de transformación que se haya seleccionado. Factores de localización, climáticos, de humedad relativa son importantes a considerar para el almacenamiento ya que aseguran la calidad de las propiedades fisicoquímicas de la biomasa. Propiedades fisicoquímicas como el contenido de humedad que afecta el poder calórico del biocombustible.

Las consideraciones al lugar de conversión de la biomasa dependerán del tipo de la instalación, pero siempre asegurando que las propiedades fisicoquímicas, descritas anteriormente, se mantengan lo más inalteradas posible. Comúnmente se usan cintas transportadoras desde el sector de acopio hasta la planta cuando las distancias no son significativas, para el caso de mayores distancias se considera el uso de maquinaria pesada para el traslado de la biomasa. Poder definir estos procesos tiene una contribución directa sobre los costos operacionales y la mano de obra necesarios para el transporte de la biomasa.

### **10.2.7 Procesamiento para la Transformación en Biocombustible**

El procesamiento que se debe realizar a la biomasa depende del posterior uso de ésta, sin embargo, tres subprocesos posteriores se pueden distinguir; astillado, secado y densificación.

El astillado que tiene como objetivo la reducción del tamaño de la biomasa a dimensiones no mayores a  $10 \times 6 \times 2 \text{ cm}^3$ , con lo cual se obtienen densidades etéreas de entre  $250 \text{ kg/m}^3 \text{ est}$  y  $350 \text{ kg/m}^3 \text{ est}$ . El astillado se realiza después de la recolección o una vez se encuentra en la planta de procesamiento (Loaiza Navarro, 2015).

El secado que tiene como objetivo controlar la humedad de la biomasa para posteriormente controlar los procesos de combustión, específicamente la capacidad calorífica al momento de la transformación de energía. Valores de hasta un 60% de humedad presenta la biomasa forestal fresca por lo que se requiere de un lugar para su almacenamiento y control de esta humedad. Para el caso del uso de biomasa para la generación de biocombustible líquido, la humedad debe ser alta por lo que su uso es casi directo en los procesos de fermentación de la materia lignocelulósica (Loaiza Navarro, 2015).

La densificación que tiene como objetivo mejorar la eficiencia de la biomasa reflejado en el aumento del poder calorífico de ésta. Procesos como molienda, astillado y aserrado ayudan a la densificación asumiendo una reducción de su volumen. Dichos procesos afectando también las emisiones de humo y material particulado. Procesos como la pelletización y el briquetado entran en la categoría de procesos de densificación. Estos procesos serán descritos y analizados posteriormente.

### 10.3 Estudio de la Factibilidad de Tecnologías de Conversión

Considerando que son tres los tipos de biocombustibles posibles de generar a partir de la biomasa forestal. Esta sección detallará las distintas tecnologías asociadas a estos procesos basado en una prospección tecnológica y a estudios de factibilidad.

Tecnologías de conversión asociadas a procesos termoquímicos de conversión de biomasa serán revisados ya que el proceso incluye la generación de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos a partir de diferentes procesos tal como se puede apreciar en la Tabla 38. Para el caso del proceso de combustión directa, no se genera un biocombustible, sino que procesa los biocombustibles para la generación de energéticos para posteriores usos.

Procesos Termoquímicos de Conversión	Biocombustibles Usados	Biocombustible Generados	Energético Primario	Energético Secundario
<b>Combustión Directa</b>	Astillas		Calor	Vapor/Electricidad
	Aserrín		Calor	Vapor/Electricidad
	Pellets		Calor	Vapor/Electricidad
	Briquetas		Calor	
	Leña		Calor	Vapor
	Carbón Vegetal		Calor	Vapor/Electricidad
	Gas Pobre/Rico		Movimiento	Electricidad
	Líquidos Piroleñosos			
	Bioetanol		Movimiento	Electricidad
<b>Pirolisis Lenta o Rápida</b>	Biodiesel		Movimiento	Electricidad
		Carbón Vegetal	Calor	Vapor/Electricidad
		Gas Pobre	Movimiento	Electricidad
		Gas Rico	Movimiento	Electricidad
		Líquidos Piroleñosos		
<b>Gasificación Aire u Oxígeno</b>		Gas Pobre	Movimiento	Electricidad
		Gas Rico	Movimiento	Electricidad
		Bioetanol	Movimiento	Electricidad
<b>Licuefacción</b>	Gas Rico	Biodiesel	Movimiento	Electricidad

Tabla 38 Procesos termoquímicos de conversión de biomasa (Secretaría de Energía, 2008)

Una segregación no presentada en esta sección corresponde al estado de la biomasa, ya sea seca o húmeda. Biomasa seca es cuando en estado natural su humedad es menor al 60% presentando mejores eficiencias energéticas cuando es tratada mediante procesos termoquímicos o fisicoquímicos. Biomasa

húmeda es cuando en estado natural su humedad es mayor al 60% presentando mejores eficiencias energéticas cuando es tratada mediante procesos químicos.

### **10.3.1 Procesos Termoquímicos de Tecnologías de Conversión**

Los procesos termoquímicos consideran reacciones químicas irreversibles y a altas temperaturas. La gran diferencia es la presencia de aire cuya variación permite clasificarlos en; combustión directa que implica exceso de aire, gasificación que implica presencia de aire, pero en menor proporción y pirólisis que implica la ausencia de aire, oxígeno para ser más precisos. La licuefacción entra en esta clasificación ya que se basa en hidrogenación indirecta y a la posterior remoción del oxígeno contenido en el producto (ENAP, 2009; Fernandez, 2009; Garcia Rojas and Sosa Moreno, 2010; IDAE, 2007; Pinedo, 2013; UDT, 2013).

#### **10.3.1.1 Combustión Directa**

Este proceso da énfasis en el uso de la biomasa forestal como biocombustible con bajo nivel de procesamiento, por ejemplo, astillas y pellets, en equipos tales como calderas de mediana y baja presiones y hornos. Para el caso de biocombustibles con alto nivel de procesamiento, tales como biocombustibles líquidos y gaseosos, su uso se considera en equipos tales como motores de combustión interna y turbinas a gas.

Cuando los biocombustibles con bajo nivel procesamiento son consumidos en calderas y hornos, se obtiene calor concentrado en los gases de combustión, estos son usados como uno de los medios en un intercambiador de calor para calentar agua para calefacción domiciliaria, calefacción distrital y ACS. El calor también puede ser usado para sobrecalentar agua y generar vapor para uso en procesos industriales y también para que mediante un proceso de expansión en una turbina conectada a un generador eléctrico genere electricidad.

Cuando los biocombustibles con alto nivel de procesamiento son consumidos en motores de combustión interna y turbinas a gas, se obtiene, gracias a la transformación de su energía química, en transmisión de movimiento para uso en acoplamiento a generadores eléctricos. Los gases de combustión residuales son desechados a la atmósfera previo tratamiento y en algunos casos cuando la temperatura y cantidad de estos gases es adecuada se pueden usar en una unidad llamada Waste Heat Recovery System, WHRS, donde el calor remanente de estos gases es aprovechado para generar vapor que puede accionar una turbina generadora. En algunos casos y dependiendo de las características de los gases de combustión, éstos se pueden usar directamente en turbinas generadoras.

El WHRS es un sistema usado en plantas industriales de gran tamaño donde la disponibilidad de gases de combustión es significativa y se busca un aprovechamiento máximo de los residuos de los procesos de combustión.

La combustión directa considera seis etapas para su proceso; almacenamiento, preparación, secado, alimentación, almacenamiento y la combustión. Estas etapas, cuando se comparan con las etapas descritas en la sección de descripción y tratamiento de la biomasa forestal, no distan significativamente de las mencionadas para el proceso de combustión directa. Cada una de estas etapas está asociada con equipamiento y procesos como los que se describieron previamente para asegurar la calidad y cantidad de biomasa necesarios para llevar a cabo el proceso. Figura 57 presenta este proceso y las consideraciones de equipamiento y acciones más importantes para su entendimiento y posterior análisis.

La etapa de combustión considera que la biomasa alcance las temperaturas para que en presencia de aire se logre mantener la reacción. Esta reacción segregada en tres fases; evaporación del agua de la biomasa, volatilización cuando se alcanzan temperaturas mayores a los 200°C y, por último, la formación de gases y el proceso de combustión propiamente tal cuando se alcanzan temperaturas superiores a los 500°C. estas fases como un todo ocurren casi simultáneamente siendo las propiedades de la biomasa las que determinan el grado de combustión, la humedad y la densidad son dos de las características más importantes a considerar para el proceso.

La generación de GEI y PM es una consecuencia de este proceso por lo que un control de la combustión, considerando la cantidad de aire, permitirá una reducción en su formación. Los equipos asociados al proceso de combustión son; el sistema de alimentación de biomasa, la parrilla, hogar, sistema de limpieza de gases, sistema de eliminación de ceniza y el sistema de recuperación de calor.

Figura 57 Proceso de combustión directa

Para el caso particular de generación de vapor, el sistema de combustión directa debe incluir un condensador que permitirá la conversión de vapor en agua nuevamente para ser reutilizada en el proceso de generación de vapor en la caldera reiniciando nuevamente el proceso. La Figura 58 presenta detalles de esta alternativa en un esquema práctico. Dependiendo de la calidad del vapor generado, éste, una vez ha trabajado en la turbina, puede ser usado para procesos de calefacción de menor demanda energética, este vapor posteriormente se condensa para formar parte del ciclo de generación de vapor nuevamente.



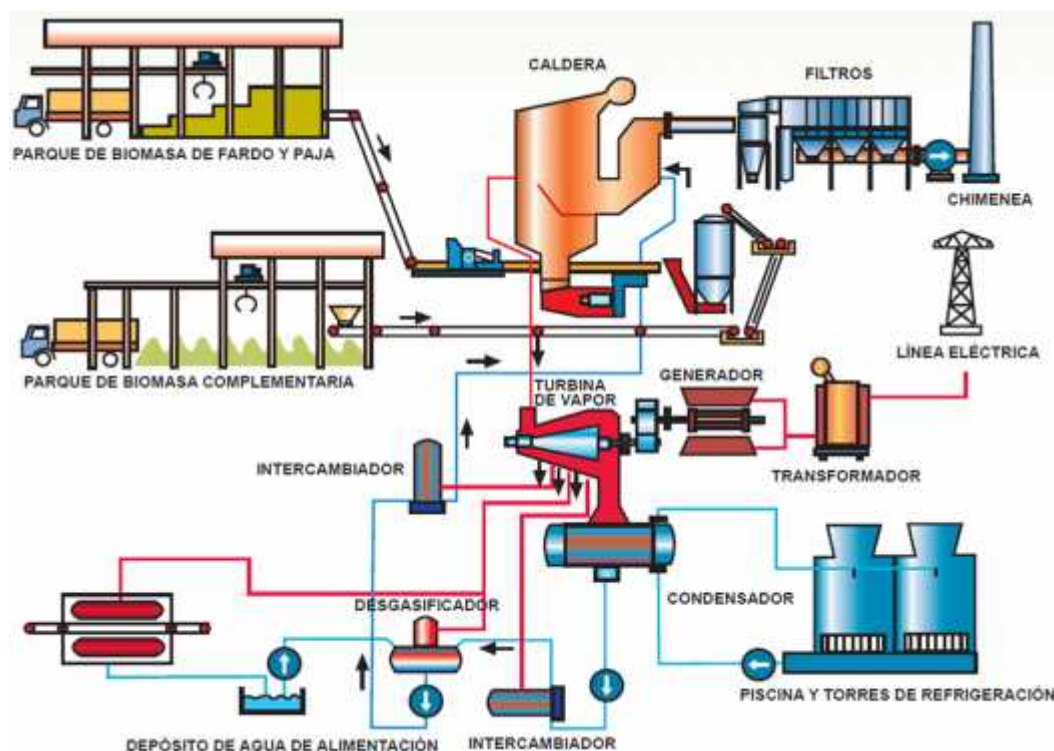


Figura 58 Esquema de generación de energía eléctrica (García Rojas and Sosa Moreno, 2010)

Análisis de calderas considera el uso de dos tipos de sistemas de combustión de biomasa; el uso de parrillas y el uso de lecho fluidizado. Parrillas del tipo fijas, móviles, vibratorias considerando un emplazamiento vertical o inclinado son las más comunes, el propósito es lograr una combustión uniforme generando mínimos niveles de emisiones. Para las calderas con sistema de lecho fluidizado, el propósito es el mismo, lograr una combustión más eficiente generando mínimos niveles de emisiones, por lo general son usadas en grandes plantas térmicas generadoras de electricidad. La Tabla 39 muestra una comparación de las tecnologías asociadas a mejorar el proceso de combustión de la biomasa en calderas (Loaiza Navarro, 2015).

Características	Tipo de Caldera	
	Tipo Parrilla	Tipo Lecho Fluidizado
<b>Flujo del Combustible Sólido</b>	Transportado en parrilla.	Fluidizado por el aire de combustión y circulación a través de la cámara de combustión y ciclones.
<b>Zona de Combustión</b>	En la parrilla.	Toda el área de combustión en el horno.
<b>Transferencia de Masa</b>	Baja.	Movimiento vertical activo y transferencia de calor.

Tabla 39 Comparación de tecnologías de calderas (García Rojas and Sosa Moreno, 2010)

Respecto al control de la combustión, dos características son fundamentales de los tipos de calderas descritos; la velocidad de respuesta y el control del exceso de aire, siendo para el caso de calderas tipo

parrilla muy lenta y difícil de control y por el contrario las calderas del tipo lecho fluidizado son muy rápidas y el control es factible.

Cuando se considera el tipo de combustible usado por las calderas, el combustible primario de las del tipo parrilla no requiere pretratamiento como en el caso de las calderas tipo lecho fluidizado en donde el combustible primario debe, por ejemplo, ser molido. Las calderas del tipo parrilla sólo operan con un combustible primario en cambio las de lecho fluidizado se pueden adaptar para operar con combustibles secundarios.

Respecto a las emisiones, específicamente a SO<sub>x</sub>, las calderas de tipo parrilla presentan problemas para lograr una desulfuración por el contrario de las del tipo lecho fluidizado. Los niveles de generación de NO<sub>x</sub> son altos para las del tipo parrilla y muy bajo para las del tipo lecho fluidizado considerando su adaptación y control de combustión para distintos tipos de biocombustibles.

El Anexo 7 – Registro de Calderas Región de Los Ríos presenta una base de datos de las empresas de la región de Los Ríos que poseen calderas, por comodidad y espacio en esta sección se presenta el análisis de esta base de datos solamente. Esta base de datos presenta información proporcionada por la Secretaria Regional Ministerial, SEREMI, de Salud de la Región de Los Ríos. La información incluye detalles de las principales calderas y autoclaves<sup>17</sup> registradas en el Servicio de Salud usadas para producir agua caliente o vapor mediante la combustión directa de biomasa forestal y otros tipos de combustibles<sup>18</sup> (Ministerio de Salud, 2013).

La Figura 59 muestra que la comuna de Valdivia presenta el mayor número de calderas y autoclaves instaladas y en servicio con una presencia del 60% del total regional seguido por la comuna de La Unión con un 9% cuyas equivalencias son 492 y 79 calderas respectivamente. El resto de las calderas y autoclaves está distribuido en las comunas de Corral, Futrono, Lago Ranco, Lanco, Los Lagos, Mafil, Mariquina, Paillaco, Panguipulli y Río Bueno. Un total de 21 calderas está registrado con información incompleta, por ejemplo, su localización.

---

<sup>17</sup> Caldera: Unidad principal diseñada para generar agua caliente, calentar un fluido térmico o para generar vapor de agua, mediante la acción del calor.

Autoclave: Recipiente metálico, diseñado para el tratamiento de materiales con vapor de agua a presión manométrica igual o superior a 0,5 kg /cm<sup>2</sup>

<sup>18</sup> Los combustibles denominado desechos de madera y de leña han sido considerado como biomasa.

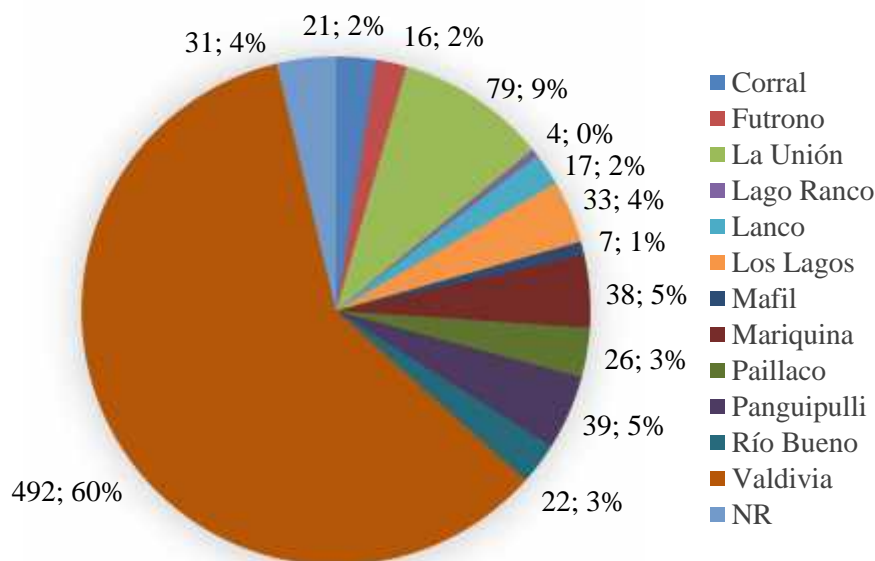


Figura 59 Calderas y autoclaves en región de Los Ríos

La Figura 60 presenta los distintos tipos de combustibles consumidos por las calderas y autoclaves de la Región de Los Ríos, siendo la leña el más consumido con un 23% del total seguido por el diésel, electricidad y GLP con un 16%, 15% y 13% respectivamente. Un total de 204 calderas no presenta registro del tipo de combustible consumido. Cuando se considera a los combustibles de origen forestal, un total de 245 calderas los consumen distribuidos comunamente como se puede apreciar en la Tabla 40 y construidas entre los años 1920 y 2016.

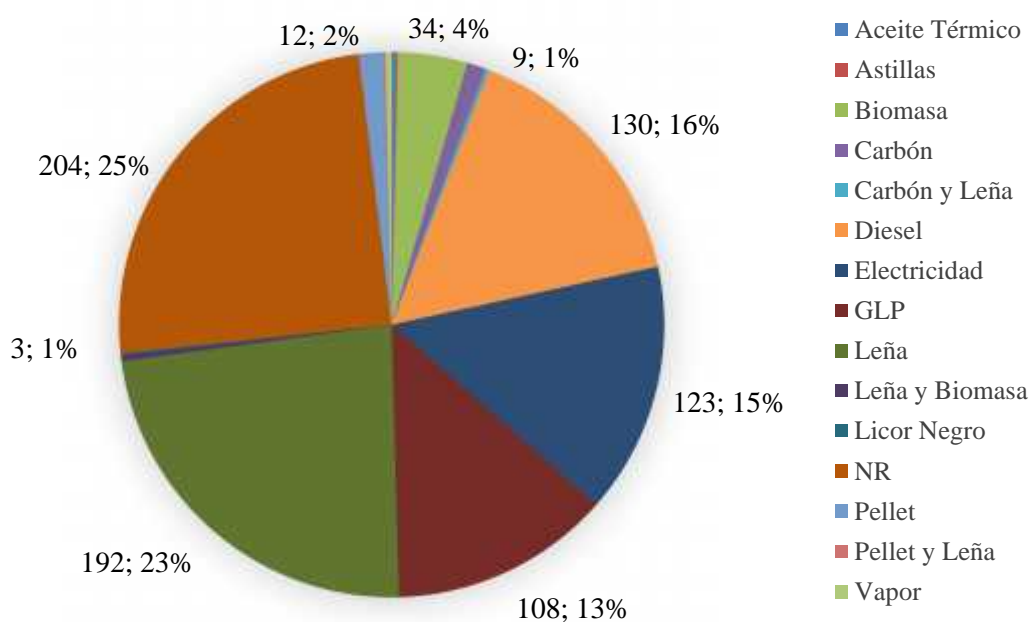


Figura 60 Combustibles consumidos por calderas y autoclaves de la región de Los Ríos

Como se puede apreciar en la Tabla 40, la comuna de Valdivia es la que presenta un mayor número de calderas instaladas y en servicio, 123 calderas en total; de este grupo, 93 calderas consumen leña a razones de entre los 0.02 m<sup>3</sup>/h hasta los 2.0 m<sup>3</sup>/h y son usadas para calefacción de instituciones y para generación de vapor para servicios industriales. Los mayores consumos son para procesos industriales asociados aserraderos y plantas de alimento. Desde el año 2013 las calderas que consumieron pellet comenzaron a ser usadas en Valdivia registrándose hasta la fecha 6 calderas consumiendo pellet a razones de 2.2 kg/h hasta los 60 kg/h.

Comuna	Calderas	Año de Construcción	Combustible
Corral	3	1991-2015	Leña
Futrono	6	1920-2001	Leña y Biomasa
La Unión	36	1950-2016	Leña, Biomasa y Pellet
Lago Ranco	2	2010-2015	Leña
Lanco	4	1978-2015	Leña
Los Lagos	11	1971-2012	Leña y Biomasa
Mafil	5	2013-2015	Leña
Mariquina	14	1981-2016	Leña y Biomasa
Paillaco	13	1971-2012	Leña y Biomasa
Panguipulli	22	1925-2015	Leña, Biomasa y Pellet
Río Bueno	6	1964-2012	Leña
Valdivia	123	1920-2016	Astilla, Biomasa, Carbón, Leña y Pellet
<b>Total</b>	<b>245</b>		

Tabla 40 Catastro de calderas y autoclaves por comuna de la región de Los Ríos

En cuanto al uso de hornos, se ha podido identificar hornos que usan biocombustible pulverizado y hornos de combustión ciclónica. La diferencia entre ambos es la granulometría, siendo para el primer tipo de hornos variable y fijo en valores pequeños para el segundo tipo (García Rojas and Sosa Moreno, 2010). Grandes diferencias respecto a la cantidad de cenizas que se forman y al contenido de humedad permitido por los equipos muestran los tipos de biocombustibles usados se puede apreciar en la Tabla 41.

Tipo	Rango de Potencia (MW)	Combustible	Ceniza	Contenido de Humedad
<b>Hornos con el fogón abajo</b>	0,02 - 2,5	Astillas y Biomasa	< 2%	5% – 50%
<b>Hornos con parrilla móvil</b>	0,15 – 15	Todos Combustibles de Madera y la Mayoría de Biomasa	< 50%	5% – 60%
<b>Hornos con parrilla</b>	0,02 - 1,5	Biomasa Seca	< 5%	5% – 35%
<b>Hornos con el fogón abajo y parrilla rotatoria</b>	2 - 5	Astillas	< 50%	40% – 65%
<b>Quemador simple</b>	3 – 5	Fardos	< 5%	20%
<b>Lecho fluidizado estacionario</b>	5 – 15	Biomasa con < 10 mm	< 50%	5% – 60%
<b>Lecho fluidizado circulante</b>	15 – 100	Biomasa con < 10 mm	< 50%	5% – 60%
<b>Combustor de polvo con flujo entrante</b>	5 - 10	Biomasa con < 5 mm	< 5%	20%

Tabla 41 Operación automática de hornos a biomasa (Garcia Rojas and Sosa Moreno, 2010)

La Tabla 42 presenta características del encendido y servicio de hornos con un rango de potencias más altas, pero considerando tecnologías de sistema de combustión del tipo lecho fluidizado y de quemador simple, sin embargo, el contenido de cenizas y contenido de humedad se mantienen para todo el rango de potencia cuando se usa biomasa para su operación.

Tipo	Rango de Potencia (MW)	Combustible	Ceniza	Contenido de Humedad
<b>Lecho fluidizado estacionario</b>	50 - 150	Biomasa con < 10 mm	< 50%	5% – 60%
<b>Lecho fluidizado circulante</b>	100 - 300	Biomasa con < 10 mm	< 50%	5% – 60%
<b>Quemador simple</b>	5 - 20	Fardos	< 5%	20%

Tabla 42 Encendido de hornos con otros combustibles (Garcia Rojas and Sosa Moreno, 2010)

### 10.3.1.2 Pirolisis

La pirolisis es un proceso en el cual se oxigena parcial y en forma controlada la biomasa para la obtención de biocombustibles sólidos como el carbón vegetal, líquidos como efluentes piroleñosos y gaseosos como el gas pobre. Biocombustibles líquidos y gaseosos son de menor importancia comparados con el carbón vegetal. La pirolisis se puede producir en forma lenta y en forma rápida siendo en esta última en que se puede generar un gas rico como el metanol.

Factores que afectan la pirolisis son; la estructura y composición de la biomasa, la tecnología empleada, la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, la velocidad de enfriamiento y la temperatura del proceso (Pinedo, 2013).

Proceso	Tiempo de Residencia	Velocidad de Calentamiento	Temperatura (°C)	Productos
<b>Carbonización</b>	Días	Muy lenta	400	Bio-char
<b>Convencional</b>	5 min – 30 min	Lenta	600	Gas, líquido y biochar <sup>19</sup>
<b>Rápida</b>	0.5 s – 5 s	Muy rápida	650	Bioaceites
<b>Flash – Líquidos</b>	< 1 s	Rápida	< 650	Bioaceites
<b>Flash – Gas</b>	< 1 s	Rápida	< 650	Químicos y gas
<b>Ultrarrápida</b>	< 0.5 s	Muy rápida	1000	Químicos y gas
<b>Vacío</b>	2 s – 30 s	Media	400	Bioaceites
<b>Hidropirolisis</b>	< 10 s	Rápida	< 500	Bioaceites
<b>Metanopirolisis</b>	< 10 s	Rápida	> 700	Químicos

Tabla 43 Tipos de pirolisis (Pinedo, 2013)

Los procesos al considerar bajas temperaturas ayudan a controlar las emisiones de SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub>, pero aumentan las emisiones de CO<sub>2</sub>. El contenido de carbono en el biocombustible es bastante alto, alrededor de un 40% por lo que se usan hornos para poder recuperar parte de este poder calorífico remanente del proceso de pirolisis de dos formas; combustionando los gases y líquidos obtenidos para generar vapor para fines de calefacción o generación de electricidad como se ha descrito anteriormente y usando el carbón vegetal resultante como biocombustible en instalaciones industriales. Enmendador

Hornos son los equipos más usados para este proceso y los más comunes son los hornos rotativos y de tubos calentados exteriormente. En cuanto a requerimientos de la biomasa, éstos deben ser seleccionados, libres de otro tipo de residuos como metales, plástico y vidrio y la biomasa debe ser tratada para controlar su tamaño y densidad (Loaiza Navarro, 2015). La posibilidad de poder obtener metanol a partir de la biomasa convierte a esta alternativa tecnológica en una opción más consistente que sólo considerarla para la producción de biocombustible sólido, sin embargo, manteniendo límites de opciones reales de poder usar el metanol para otros procesos de conversión energética.

Una planta tipo de pirolisis se presenta en la Figura 61 donde se puede apreciar los principales componentes sistémicos; A – Zona de descarga y trituración, B – Pirolisis, C – Recogida y selección de residuos procedentes del sistema, D – Recuperación de energía y E – Depuración de gases.

<sup>19</sup> Es un carbón residual del proceso de pirolisis y es usado como un rectificador o para recomponer suelo agrícola, es un biocombustible sólido rico en carbono.

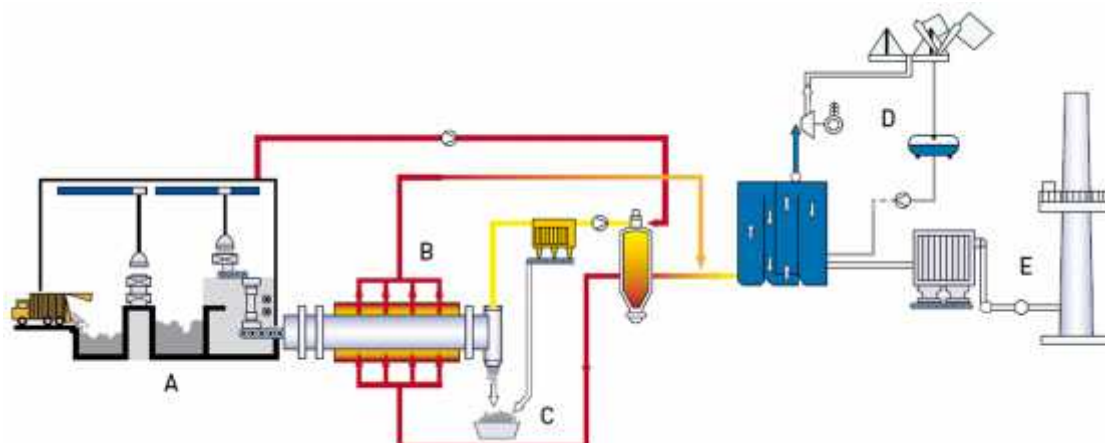


Figura 61 Planta tipo de proceso de pirolisis (Grau and Farré, 2011)

### 10.3.1.3 Gasificación

La gasificación consiste en la quema de la biomasa en presencia de oxígeno, pero en forma controlada generándose un gas combustible pobre. Este gas puede ser quemado para obtener energía térmica en forma de calor y/o vapor, así como también puede ser acondicionado para ser usado en motores de combustión interna para realizar procesos de transformación mecánica. Calderas de mediana y baja presiones, turbinas a gas y motores de combustión interna son los equipos más comúnmente usados en este proceso. La Figura 62 presenta las principales aplicaciones de la gasificación de biomasa forestal donde el fin principal es la generación de electricidad, para el caso específico de la turbina de gas, el medio de generación de electricidad corresponde a un ciclo combinado de gasificación integrada, IGCC<sup>20</sup>.

La eficiencia del proceso de gasificación varía entre un 70% y un 80% dependiendo de la tecnología del proceso, la biomasa usada y el agente gasificante (IDAE, 2007). Los biocombustibles producidos del proceso de gasificación son usados como reemplazo de combustibles ligeros de origen fósil.

Las tecnologías asociadas al proceso de gasificación están condicionadas a los procesos de termoquímicos y considera gasificadores de lecho móvil y gasificadores de lecho fluidizado. Las características de estos gasificadores propicia aumentos de eficiencias y disminución de emisiones.

Los elementos principales del proceso de gasificación son; el agente gasificante, la biomasa y los catalizadores. El agente gasificante que propicia el aumento del poder calorífico del biocombustible

<sup>20</sup> Integrated Gasification Combined Cycle en inglés.



generado, la biomasa, que es la materia prima del proceso de gasificación, debe ser tratada para controlar su tamaño y densidad y los catalizadores que propician la generación de ciertos biocombustibles de acuerdo con necesidades específicas como por ejemplo bajos niveles de formación de alquitranes (IDAE, 2007).

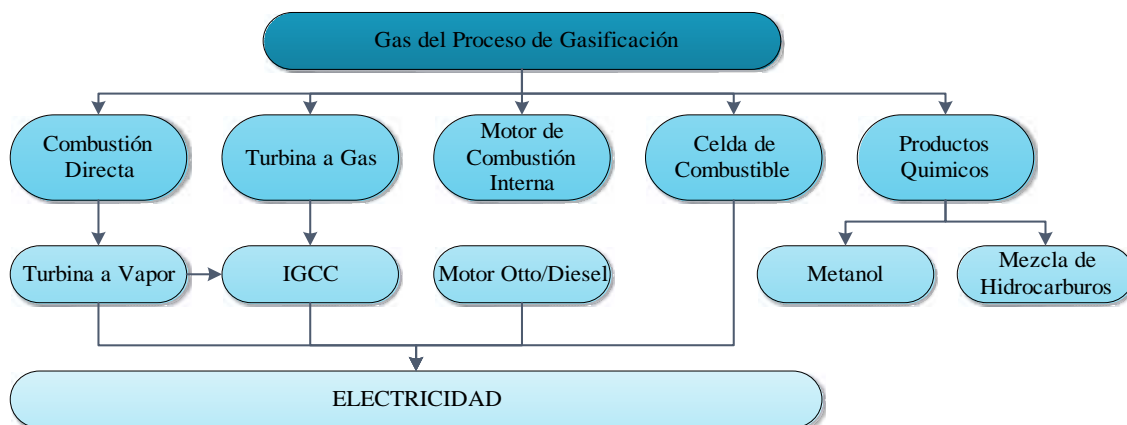


Figura 62 Principales aplicaciones de la gasificación de biomasa (Martínez Lozano, 2009)

La generación de electricidad sigue los mismos principios presentados para las otras tecnologías presentadas previamente. El biocombustible es usado en turbinas a gas y motores de combustión interna que acoplados a un generador producen electricidad.

#### 10.3.1.4 Licuefacción

El proceso de licuefacción para la generación de biocombustibles líquidos es el más complejo y uno de los más desarrollados por investigadores ya que estos biocombustibles buscan reemplazar el uso de combustibles fósiles que generan un detrimento, por el exceso de GEI y MP que producen, al medioambiente cuando son combustionados.

El proceso consiste en la hidrogenación indirecta, se remueve el oxígeno y se agrega hidrogeno, estas reacciones químicas generan una mezcla de hidrocarburos que una vez enfriados se condensan en forma líquida. Altas presiones y temperaturas son necesarios para el proceso (Comisión Nacional de Energía, 2007; ENAP, 2009; Gaffney and Marley, 2009).

El proceso considera equipo muy sofisticado, el cual es altamente costoso y una disponibilidad de materia prima considerable para la obtención de suficiente bioetanol y biodiesel. El alto costo de tecnologías asociadas a la generación de estos biocombustibles líquidos no permite considerarlo como una alternativa viable para este estudio, sin embargo, es necesario conocerlo y presentarlo ya que forma parte de la retrospección tecnológica de posibles usos de la biomasa residual forestal.



El año 2015, se creó el consorcio Biocomsa buscando la producción de biocombustibles de segunda generación líquidos a partir de biomasa forestal, en la actualidad, la viabilidad de poder implementar una planta que produzca suficiente biocombustible está a la espera de inversionistas con las capacidades de apalar la gran inversión inicial de un proyecto que tiene un periodo de retorno de más de 5 años (Biocomsa, 2015).

La Tabla 44 presenta un resumen de las diferentes tecnologías de conversión y los tipos de biocombustibles generados y consumidos por estas que será usado posteriormente para la determinación de los costos de inversión y los costos operacionales asociado con los cuales se puede justificar una inclusión o exclusión en el desarrollo de posibles proyectos de implementación de tecnologías asociadas al uso y aprovechamiento de biomasa forestal.

Proceso	Sólido	Líquido	Gaseoso
<b>Combustión Directa</b> <sup>21</sup>	Caldera <sup>22</sup>	Motores de Combustión Directa	Motores de Combustión Directa
	Horno <sup>23</sup>	Turbinas	Turbinas
<b>Pirolisis</b>	Horno	Horno	Horno
<b>Gasificación</b>			Gasificador
<b>Licuefacción</b>			

Tabla 44 Tecnologías de conversión a biocombustibles

Para el caso de la pirolisis, gasificación y licuefacción, la tabla presenta la tecnología primaria para la generación de los distintos biocombustibles, pero omitiendo el equipo auxiliar. Las eficiencias de los procesos para generación eléctrica varían entre un 25% y 36% para los casos específicos de combustión directa, eficiencias desde un 31% se ha logrado en procesos de gasificación y un 36% para el caso de calderas y sistemas de digestión anaeróbica (IRENA, 2017).

### 10.3.2 Costos de Inversión de Tecnologías de Conversión

Considerando que la tecnología asociada a procesos de conversión es casi en su totalidad importada para ser aplicada en el país, esta sección presenta un resumen de los costos de estas usando información proveniente de la Agencia Internacional de Energías Renovables, IRENA. La agencia presenta informes en donde se muestra claramente la tendencia mundial en el desarrollo y aplicaciones de ERNC para la generación de energía eléctrica y también como calor para, por ejemplo, calefacción domiciliar y distrital (IRENA and CPI, 2018). Los costos de producción de energía eléctrica usando

<sup>21</sup> EL proceso propiamente tal no genera un biocombustible. Para consideraciones de tecnologías ha sido referenciado considerando el tipo de biocombustible que consumen las diferentes tecnologías.

<sup>22</sup> Considera equipos de bajas, medianas y altas presiones con sistema de parrilla fija, móvil y de lecho fluidizado.

<sup>23</sup> Considera equipos con sistema de parrilla fija, móvil y de lecho fluidizado.

ERNC sigue bajando cuando se compara con el uso de combustibles fósiles. En el 2017, el costo de producir electricidad gracias a bioenergía fue de USD 0.06/kWh, la reducción de estos costos ha sido gracias a los avances tecnológicos, a la adquisición competitiva y a la gran cantidad de proyectos en ejecución que ha significado un aumento de la experiencia para poder replicarlos más eficientemente (IRENA, 2017). Para el caso particular de uso de biomasa como fuente de energía para la generación eléctrica, el costo de usarla ha estado por debajo del costo usando combustibles fósiles desde el 2010 hasta la fecha. Gracias a estas reducciones de costos, se espera que para el 2020 cuando se analizan los energéticos disponibles en comparación con combustibles fósiles, sean menores.

Mejoras en los sistemas ha hecho bajar los costos de operación y mantenimiento, la madurez de las tecnologías de conversión ha hecho reducir la incertidumbre de invertir en proyectos usando biomasa, la Figura 63 representa los factores asociados a las tecnologías que afectan la generación y/o nivelación de los costos de energía eléctrica a partir del uso de biomasa.

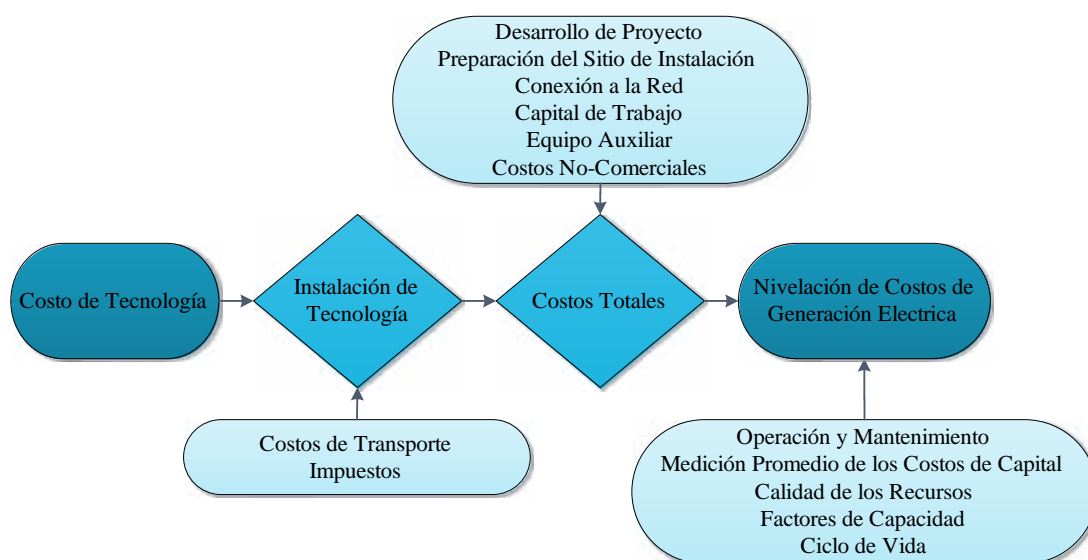


Figura 63 Factores que afectan la generación eléctrica (IRENA, 2017)

El desarrollo de tecnologías asociadas a la conversión energética de la biomasa residual ha sido principalmente en Europa, Norte América y Asia, esta sección limita información respecto a los costos de las tecnologías a revisiones de instituciones que basados en años de experiencia como desarrolladores y aplicadores de estas han compilado y determinado considerando; la escala de los proyectos, año de comisión del proyecto, valor del dólar americano al año 2016 por lo que se considera la inflación, valores promedio de capacidades, información de costos y desempeño para el año 2017, excluye subvenciones gubernamentales, incluye las políticas de soporte financiero

asociadas, no incluye el impacto de la conexión a la red primaria y considera los costos de capital sobre el periodo de análisis.

Específicamente respecto a las tecnologías, esta sección trabaja bajo consideraciones de desarrollo de la industria fabricante de las tecnologías considerando; un incremento de la economía de escala de fabricación, la integración, la consolidación de los fabricantes, las mejoras en procesos de fabricación que reduce el uso de materiales y los costos de mano de obra mientras se optimiza el uso del capital, mayor competitividad, optimización de la cadena de suministros que genera una producción de tecnologías a medida de las demandas y de los mercados locales que quizás cuentan con reducidos recursos, disminución de los costos de instalación y aumento de los rendimientos de las tecnologías, experiencia de los desarrolladores de proyectos estandarizando procesos eficientemente minimizando los riesgos de desarrollo, procesos de operación y mantenimiento optimizados, uso de información en tiempo de real de la operación de las tecnologías que permite programar los diferentes mantenimientos en forma ordenada, globalización que permite que desarrolladores extranjeros con vasta experiencia puedan desembarcar en distintos mercados incorporando el conocimiento y desarrollo a mercados con menos experiencia, políticas locales de desarrollo y una madurez de las tecnologías asociadas. A gran escala los proyectos de generación de energía eléctrica y calor considerando el uso de biomasa residual se han visto afectados positivamente por las mejoras de las tecnologías asociadas, disminución de los costos y el apoyo de políticas públicas (IRENA and CPI, 2018). La Tabla 45 presenta el estado y la tendencia futura de las diferentes tecnologías revisadas en este estudio. Una de las grandes variables es la disponibilidad de biomasa la cual determinara los costos del biocombustible a usar por las distintas tecnologías.

Tecnología	Estado	Tendencia
<b>Combustión Directa en Calderas y Hornos</b>	Madura Comercialmente Disponible En Operación	Se espera una disminución de costos de aplicación más bien marginal, pero con potencial de disminución alta para aquellas tecnologías con aplicación baja (IRENA, 2017). Diversificación de la biomasa residual a usar como biocombustible donde la astilla presenta una marcada tendencia futura. Conversión de la biomasa residual donde el pellet y la briqueta están presentando una disminución presencial en comparación con la astilla, mayoritariamente por los costos asociados a la transformación de estos. Desarrollo de tecnologías de conversión usando biomasa residual y sus distintas conversiones energéticas sobre todo aquellas consumiendo biomasa residual sin procesar como la astilla para la generación de calor y vapor por sobre la energía eléctrica.
<b>Combustión Mezclada en Calderas y Hornos</b>	Madura Comercialmente Disponible En Operación	
<b>Incineración de Residuos Sólidos</b>	Madura Comercialmente Disponible En Operación	
<b>Plantas de Cogeneración</b>	Madura Comercialmente Disponible En Operación	
<b>Gasificación de Biomasa</b>	Madura Comercialmente Disponible Baja Aplicación/Operación	
<b>Pirolisis</b>	Madura	

Tecnología	Estado	Tendencia
	Comercialmente Disponible Baja Aplicación/Operación	

Tabla 45 Estado y tendencias de tecnologías de conversión

Por lo tanto, la economía de la generación de electricidad y calor usando biomasa residual dependerá mayoritariamente de la logística asociada a la disponibilidad en el mediano y largo plazo, a su transporte y su costo.

Desde el punto de vista de las instalaciones, se puede mencionar que, gracias a las capacidades de poder producir calor y energía eléctrica, el uso de las diferentes tecnologías demuestra un potencial de desarrollo que disminuye la incertidumbre de futuras aplicaciones porque pueden ser asociadas a distintos procesos productivos como, por ejemplo, uso de vapores industriales, calefacción residencial y domiciliaria. Dichas aplicaciones cuando están asociadas a la generación eléctrica disminuyen costos y mejora su economía, independiente de los altos costos capitales de las tecnologías. Proyectos asociados a biomasa residual consideran un periodo de retorno de la inversión a largo plazo. En este sentido se ha logrado identificar que para el caso de Sudamérica los costos de estas tecnologías son menores que para el caso de países europeos y norteamericanos donde normativas son menos exigentes en cuanto a automatismo, cualificación de operarios y regulaciones medioambientales, sin embargo, la realidad demuestra que los costos de las tecnologías siguen siendo altos para pensar en proyectos con periodos de retornos menores a diez años. Comparando los costos de tecnologías asociadas a procesos de combustión directa usando calderas para proyectos desarrollados en Europa y Norte América en contra de proyectos desarrollados en Asia y Sudamérica, los costos de inversión inicial van desde los USD 500/kW a los USD 2.000/kW siendo los más bajos para Sudamérica. Para el caso de gasificadores, los costos varían entre los USD 2.000/kW y los USD 7.000/kW en Europa y Norte América (IRENA, 2017).

Respecto a los costos de instalación, el rango, por ejemplo, para China varía entre los USD 450/kW y los USD 3.600/kW, para el caso de Europa y Norte América la variación es entre los USD 450/kW y los USD 7.500/kW. Para el caso particular de Sudamérica el rango varía entre los USD 450/kW y los USD 5.500/kW, pero la diversidad de la escala de los proyectos genera una variación en donde, por ejemplo, proyectos de 200 MWe que pudiesen estar asociados a combustión directa tienen costos de instalación del orden de los USD 2.000/kW y procesos de gasificación de menos de 100 MWe presentan costos de instalación de casi USD 6.000/kW (IRENA, 2017).

### 10.3.3 Costos de Operación y Mantenimiento

Información extraída desde la Agencia Internacional de Energía Renovable como complemento a la información respecto a los costos asociados a las tecnologías de conversión de biomasa residual. La información es un compendio de los aspectos más importantes a considerar para la evaluación de los costos de operación y mantención de las tecnologías de conversión. Costos fijos y costos variables son considerados. Los costos fijos son considerados entre un 2% y 6% de los costos de instalación por año de servicio mientras los variables son más bajos alrededor de USD 0.005/kWh. La Tabla 46 presenta los costos fijos y variables de algunas de las tecnologías de conversión más aplicadas en la actualidad (IRENA, 2017).

Costos fijos incluye: operarios, mantenimiento programado, seguros y reemplazo de componentes y/o equipos de rutina para los equipos de conversión, equipos asociados al manejo de la biomasa, etc. Se establece que mientras más grande la planta de conversión los costos fijos son menores por kW debido a la economía de escala de estos proyectos (IRENA, 2017).

Costos variables están asociados al manejo de los residuales de la biomasa una vez transformada, por ejemplo, el manejo de las cenizas, mantenimiento no planificado, reemplazo de equipo y costos de servicio incrementales (IRENA, 2017).

Tecnología	Fijos (% of CAPEX/Año)	Variables (2016 USD/MWh)
Caldera	3.2	4.08 – 5.03
Gasificador	3 – 6	4.08
Digestor Anaeróbico	2.1 – 3.2	4.49
	2.3 – 7	-
Vertedero de Gas	11 – 20	No Aplica

Tabla 46 Costos fijos y variables de mantención y operación de tecnologías de conversión

### 10.4 Evaluación Económica de Proyectos

Esta sección presenta los detalles de la metodología utilizada para el análisis económico de los proyectos de valorización energética de biomasa forestal definidos de acuerdo con el estudio de factibilidad de tecnologías de conversión presentado previamente. En esta evaluación se incluyen aspectos técnicos, económicos, sociales y medioambientales de futuras implementaciones.

Los objetivos de esta evaluación incluyen definición de la metodología, información necesaria y las herramientas de análisis y simulación, y por último los indicadores de evaluación. La Figura 64 presenta la metodología a seguir en esta etapa de evaluación.

Figura 64 Metodología evaluación económica de proyectos

La metodología considera técnicas y métodos para formular, preparar y evaluar los proyectos en este estudio considerando la asignación de recursos que permitan la selección de la o las alternativas tecnológicas más convenientes.

La definición del tipo de proyectos en este estudio considera una tipología del tipo independiente, en donde cada proyecto será evaluado en forma única, sin embargo, como en el caso de los proyectos de la UACH, una tercera opción será analizada y tiene que ver con la posibilidad de evaluar una modernización de los procesos productivos existentes. Los proyectos serán analizados midiendo la rentabilidad de los recursos propios del inversionista y mediante crédito bancario para el caso de la planta de calefacción distrital del Campus Miraflores de la UACH.

Para los estudios de viabilidad, se ha considerado opciones de proyectos existentes y nuevas opciones de acuerdo con los resultados de disponibilidad de biomasa que la primera parte de este estudio dio como resultado y que formo parte medular de los entregables en el Informe 01 (IBOS-FCI, 2018), por

lo que en esta etapa solo se revisarán la viabilidad técnica, legal y económica dejando para el posterior Informe 03 la viabilidad medio ambiental ya que de acuerdo con estudios preliminares los proyectos están enmarcados dentro de los rangos viables fijados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 2009).

#### **10.4.1 Viabilidad Técnica**

La viabilidad técnica incluye el análisis de la disponibilidad tecnológica para el manejo y procesos de la biomasa forestal considerando también las capacidades humanas y medios operativos para la implementación de los proyectos de uso de biomasa forestal.

#### **10.4.2 Viabilidad Legal**

La viabilidad legal incluye un análisis de posibles restricciones que pudiesen tener la implementación de los proyectos de uso de biomasa considerando las posibles localizaciones de estas.

#### **10.4.3 Viabilidad Económica**

La viabilidad económica incluye una definición mediante una comparación de costos y beneficios la rentabilidad de la inversión que propiciara la implementación de los proyectos de biomasa. Para la evaluación económica de los proyectos de este estudio, la etapa de preinversión será la etapa donde se concentrarán el desarrollo por tratarse de la etapa en donde el perfil, la prefactibilidad y factibilidad de los proyectos serán estimados, estas siendo parte fundamental de la viabilidad económica de un proyecto. Se proyectarán los costos/beneficios durante un periodo de tiempo determinado que serán expresados a través de un flujo de caja cuyos criterios serán establecidos de acuerdo con la calidad y cantidad de información de evaluación de los proyectos.

Considerando que la evaluación económica de un proyecto puede medir su rentabilidad, a partir de la fuente de financiamiento, recursos propios del inversionista, crédito, leasing<sup>24</sup> o una combinación de estos, es importante tener presente que, desde la posición del inversionista, el utilizar como fuente de financiamiento la “banca”, cumpliendo con sus compromisos de “pago”, le significa una mayor rentabilidad sobre los recursos invertidos (Chain, 2007).

---

<sup>24</sup> Es una forma de financiar la adquisición de un activo, mediante la cual se compromete una serie de pagos futuros en la forma de un alquiler, con la opción de compra junto con el pago de la última cuota CHAIN, N.S. 2007. *Proyectos de inversión: formulación y evaluación*, Pearson Educación..

#### 10.4.4 Procesos de Evaluación Económica de Proyectos

Para el proceso de evaluación se ha considerado procesos de; formulación, preparación y evaluación. La formulación define las características, opciones de configuraciones de plantas, cuantificación de costos y beneficios para lograr una cuantía y significado de los resultados acorde al grado de especificación necesario para poder evaluar los proyectos. La preparación corresponde a la evaluación del flujo de caja considerando, por ejemplo, el valor de desecho para una vida útil del proyecto de acuerdo con la vida útil de los equipos e instalaciones asumiendo el valor mínimo de estos para la preparación de la evaluación. La evaluación define el cálculo de la rentabilidad del proyecto que se expresara en moneda local considerando el tiempo de recuperación de la inversión evaluando posibles escenarios futuros y a demás considerando análisis de sensibilidad, medición de riesgos y medidas de mitigación. Este proceso de evaluación se presenta gráficamente en la Figura 65.

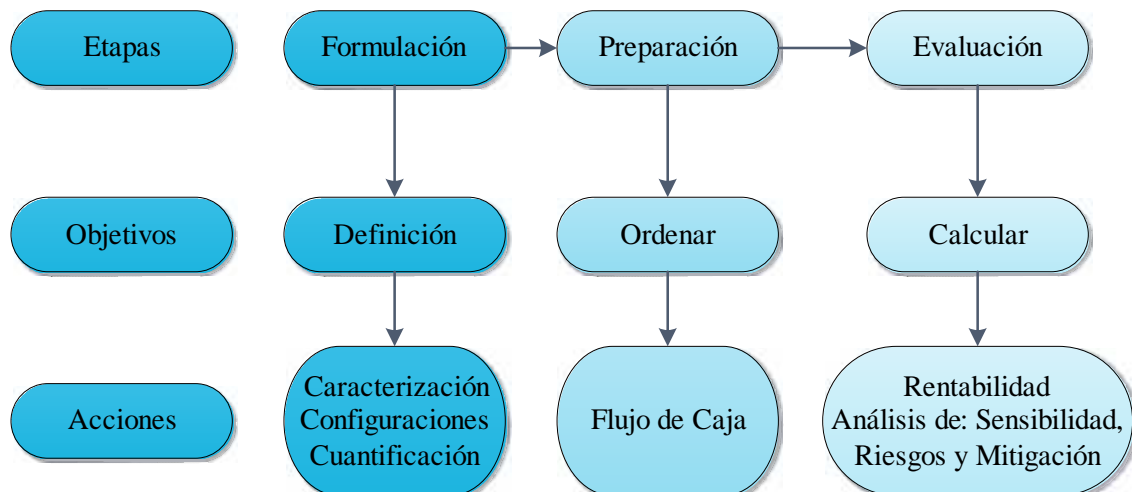


Figura 65 Etapas, objetivos y acciones de evaluación de proyectos (Chain, 2007)

#### 10.4.5 Estudio de Mercado

EL estudio analiza las relaciones económicas actuales y sus tendencias, y proyecta el comportamiento futuro de los agentes económicos que se relacionan con su mercado particular. Se ha procedido a identificar a los actores principales del mercado energético en base a biomasa, el que incluye a proveedores, distribuidores y clientes. Para el caso de los proveedores se incluirán en forma de competidores para la evaluación de los proyectos.

#### 10.4.6 Estudio Técnico

Como parte fundamental de la etapa de formulación de proyecto, el estudio técnico provee el input para la evaluación económica del proyecto. Input en la forma de información tal como; cantidad y



costos de los equipamientos de las plantas asociadas a los proyectos, su vida útil y los valores de liquidación. Dicha información permite generar balances que incluyen información equipos, obras civiles para la adecuación de las plantas, del personal operador de las plantas y de los insumos.

#### **10.4.7 Construcción del Flujo de Caja**

El flujo de caja evalúa la rentabilidad del proyecto en un periodo de tiempo, el que está determinado por; la inversión inicial, los ingresos o ahorros generados y los desembolsos generados por la operación del proyecto. El periodo de evaluación se determinará en base a la vida útil de los equipos electro/mecánicos más significativos en la inversión inicial del proyecto.

#### **10.4.8 Criterios de Evaluación Económica**

Los indicadores usados son; Valor Actual Neto, VAN, Valor Actual de Costos, VAC, Tasa Interna de Retorno, TIR, y Periodo de Recuperación de la Inversión, PRI. Para los cuatro indicadores se han considerado valores máximos y mínimos para sus evaluaciones que serán reflejados como los casos más favorables y desfavorables para análisis y evaluación. Estos outputs se convertirán en inputs para el desarrollo del Informe 03 de este estudio. La evaluación del riesgo será realizada utilizando los criterios de evaluación económica, definiendo posibles escenarios futuros en base a las variables que tienen mayor efecto sobre la rentabilidad de los proyectos.

## 11. Estudios de Prefactibilidad

El siguiente capítulo presenta un grupo de proyectos que se han evaluado de acuerdo con los requerimientos de este estudio, estos proyectos han sido seleccionados porque presentan las alternativas más concordantes con los resultados obtenidos durante la primera parte de este estudio que corresponde a la disponibilidad de biomasa en la región de Los Ríos. Otro criterio de selección fue el posible impacto social y medioambiental que representan tanto para la región como para el País.

### 11.1 Prefactibilidad de Plantas de Calefacción Distrital en Campus UACH

De acuerdo al Acuerdo de Producción Limpia, APL, firmado en abril del 2007 por la UACH (UACH, 2017), proyectos en donde el uso eficiente de recursos energéticos y en donde se logre una reducción de la huella de carbono han sido considerados pertinentes y de alto impacto a ser evaluados para una posterior implementación, especialmente aquellos usando biomasa forestal (Cofré Guerrero, 2014); Mansilla Chiguay, 2017). En esta sección se desarrollan los proyectos más relevantes para la UACH.

Para evitar la redundancia de información respecto a los tres proyectos evaluados de la UACH, a continuación, se presentan antecedentes generales para las evaluaciones técnico-económicas. Estos antecedentes incluyen información pertinente de los proveedores de combustibles, posibles competidores y los costos de los combustibles (FCI, 2018).

Dos proveedores de astillas en la región de Los Ríos fueron considerados; Inversiones Quillalhue Ltda. (Mitre, 2018) y Biomasa Salinas y Waeger SPA (Gallardo, 2018), para el caso de combustible diésel, proveedores nacionales como COPEC (COPEC S.A., 2018) y Shell (Shell, 2018) fueron consultados. Es importante considerar la información respecto al combustible diésel porque su uso en calderas se ha identificado como el competidor de la astilla combustible. La Tabla 47 presenta los costos de los combustibles usados para las evaluaciones técnico-económicas de los estudios UACH donde de acuerdo con los antecedentes presentados en Informe 01 de este estudio se ha logrado establecer un rango de costos de astillas que varía de acuerdo con la localización, medio de transporte y procesos productivos. Se ha incluido el costo de la electricidad ya que se logró identificar una cantidad significativa de calefactores eléctricos usados y que son necesarios de reemplazar (UACH, 2015).



Esta página ha sido intencionalmente dejada en blanco

Costos Astillas	(USD/ton)	15	45	63	70	120
	(\$/kg)	9	27	38	42	72
Costo Diésel	(\$/l)	443				
Costo Electricidad Cliente Libre <sup>25</sup>	(\$/kWh)	78				

Tabla 47 Costos de combustibles para evaluación técnico-económica de estudios

### 11.1.1 Estudio de Prefactibilidad 1 para Campus Teja

La UACH a través de su Dirección de Servicios ha tomado la iniciativa, desde 2015, de evaluar con una empresa consultora externa un proyecto de calefacción distrital para el Campus Teja (UACH, 2015). Este estudio contempla proyectar un sistema distrital para una superficie aproximada de 15.000 m<sup>2</sup> a calefaccionar, el sistema de calefacción distrital busca el reemplazo de la leña y el diésel como combustibles por el uso de astillas. La Figura 66 muestra en color amarillo el sector a considerar por el proyecto.



Figura 66 Sector Campus Teja UACH para sistema de calefacción distrital

Los recintos considerados en el estudio se presentan en Tabla 48, junto con las fuentes de energía que se consideran en la actualidad para fines de calefacción.

<sup>25</sup> Cliente libre: clientes cuya potencia conectada es de una envergadura tal, que hace suponer su capacidad negociadora y la posibilidad de proveerse de electricidad mediante la autogeneración o el suministro directo desde empresas de generación. Es por ello por lo que son clientes no sujetos a regulación de precios, Ley 19.940.

Edificio	Superficie (m <sup>2</sup> )	Electricidad	Diésel	Leña
<b>Dirección Asuntos Estudiantiles</b>	3.340	X	X	
<b>Ciencias Biomédicas</b>	4.436	X	X	
<b>Ciencias del Cuidado en Salud</b>	1.223	X		
<b>Centro Innovación Docente</b>	1.733	X	X	
<b>Facultad de Filosofía y Humanidades</b>	1.110	X		
<b>Geociencias, Ex Ecología y Evolución</b>	1.624	X	X	
<b>Escuela de Arquitectura</b>	1.432	X	X	
<b>Ciencias Jurídicas</b>	1.276	X	X	
<b>Aula Magna</b>	1.990	X		X
<b>Conjunto Cine-Arte</b>	18.164			
<b>Total</b>				

Tabla 48 Edificios del Camus Teja considerados en estudio de prefactibilidad 1

Se contempla una red de calefacción bajo tierra, de aproximadamente 750 m de extensión en forma de anillo, para abastecer entre 15 a 20 puntos de consumo. La temperatura de operación es 80°C en la caldera y se estima en 75°C la temperatura en los puntos de consumo. Considerando el tipo de consumo de la UACH y que una parte de la energía es almacenada en estanques de inercia, se contempla en el estudio de factibilidad una demanda alta de 1.044 kW.

El estudio concluye con una central distrital de una capacidad de 1.100 kW, los cuales serían cubiertos con una caldera de biomasa de 600 kW, un estanque de inercia de 40 m<sup>3</sup> y una caldera auxiliar de 500 kW. Se estima en 500 ton/año el consumo de biocombustible, astilla de proveedores externos a la UACH, con una humedad de 35%, lo cual representa un ahorro de 16% respecto de un sistema en base a calderas individuales con combustible en formato tipo leña certificada. El silo de almacenamiento se considera de 100 m<sup>3</sup> como mínimo para una autonomía de 1 semana. La Tabla 49 presenta el consumo de combustible mensual de la central distrital.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
<b>Consumo (ton)</b>				62	57	100	61	103	77	40			500

Tabla 49 Consumo de combustible para estudio de prefactibilidad (UACH, 2015)

El monto de la inversión inicial fue estimado en USD 700.000, CAPEX, y el costo anual del proyecto es de USD 90.000 para un periodo de 25 años de vida útil. Los costos operacionales anuales por consumo de combustibles son USD 31.500, considerando USD 70/ton.

Los costos anuales de mantenimiento informados en el estudio son del orden del 4% del valor inicial, con lo cual se calculan en USD 28.000. Las emisiones de este proyecto, según la empresa asesora de este proyecto alcanzan los 50 kg/año (UACH, 2015).

#### 11.1.1.1 Evaluación Técnico-Económica de Proyecto

Una vez revisado los antecedentes del proyecto presentado a la UACH respecto a la viabilidad de implementación de una central de calefacción distrital, algunas correcciones se llevaron a cabo para contextualizar la realidad actual del mercado de los energéticos necesarios para la evaluación. Las rectificaciones más importantes son referentes al biocombustible astilla a usar.

Se estimo que las 500 ton/año calculadas previamente no serán suficientes por lo que, usando características como el contenido de humedad, formato, poderes caloríficos y el tipo de astilla se calculó nuevamente, este consumo es presentado en la Tabla 50. Otra corrección realizada corresponde a los costos anuales de mantención que se han asumido en un 1% CAPEX.

Astilla Combustible	Valores
<b>Tipo de Astilla - Especie</b>	PR
<b>Formato</b>	G30
<b>Poder Calorífico Superior Seco</b>	19,5 MJ/kg
<b>Poder Calorífico Superior Seco</b>	5,4 kWh/kg
<b>Porcentaje de Humedad</b>	35%
<b>Poder Calorífico Inferior Húmedo</b>	3,28 MJ/kg
<b>Consumo de astillas húmedo</b>	546.191 kg/año

Tabla 50 Características de astilla combustible H35%

Se ha considerado para la evaluación económica del flujo de caja la variabilidad del precio de la astilla combustible pero también considerando su contenido de humedad, que según proveedores afectaría sus costos al largo plazo y durante el periodo invernal (Gallardo, 2018). Considerando el recambio de combustible diésel por astillas, la evaluación económica es realizada en base a los ahorros por el uso de estas astillas, la Tabla 51 presenta los ahorros por el recambio de combustible cuando se considera la variabilidad del contenido de humedad de la astilla combustible. La fuente de financiamiento del proyecto ha sido considerada como una inversión de recursos propios.

Costos y Ahorros						
Costos Astillas	(USD/ton)	15	45	63	70	120
	(\$/kg)	9	27	38	42	72
Porcentaje Humedad (H)	35%	\$83.065.368	\$73.233.933	\$67.335.072	\$65.041.071	\$48.655.346
	40%	\$82.562.520	\$71.725.389	\$65.223.110	\$62.694.447	\$44.632.562
	50%	\$81.168.811	\$67.544.264	\$59.369.535	\$56.190.474	\$33.482.895

Tabla 51 Ahorros reemplazo de diésel por astillas

La Figura 67 presenta gráficamente los resultados de los ahorros usando astillas, mostrando claramente como el contenido de humedad también afecta a dichos ahorros, mientras menor sea el porcentaje de humedad mayores serán los ahorros. La Tabla 52 presenta el resto de los parámetros económicos usados para la evaluación del proyecto de calefacción distrital de la UACH.

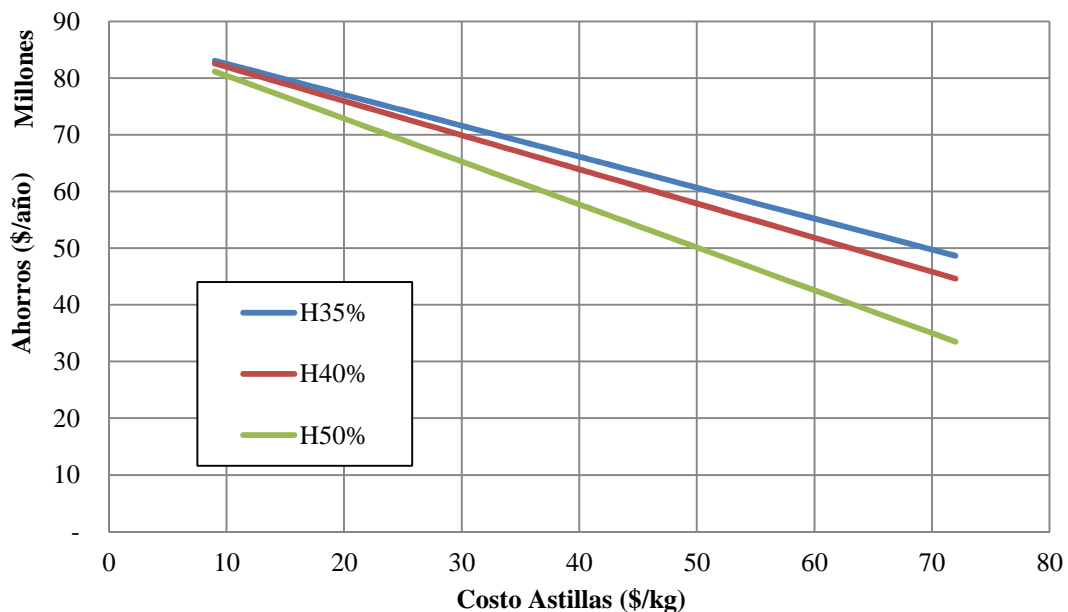


Figura 67 Ahorro reemplazo diésel por astillas

Parámetro	Dato
Valor USD	\$599,0
Depreciación Anual	20%
Período de Depreciación	20 años
Tasa de Interés para Préstamo	4,6%
Tasa de Descuento	5,0%
Período de Evaluación	20
Inflación de Precios de Astilla	1,0%
Inflación de Precios de Diésel	2,0%
Inflación de Costos de Mantención	1,0%

Tabla 52 Parámetros económicos para evaluación



Los resultados de la evaluación económica están presentados en la Tabla 53, donde se puede apreciar que el proyecto presenta una viabilidad hasta un costo de astillas de \$42/kg, esto quiere decir, un VAC positivo. Cuando se considera el costo de la astilla en \$72/kg, que fue el valor más alto que se colectó de proveedores, el proyecto se hace inviable. Respecto al PRI depende fuertemente del precio del combustible y varía entre 7 a 10 años.

<b>Costo Astillas (USD/ton)</b>	<b>15</b>	<b>45</b>	<b>63</b>	<b>70</b>	<b>120</b>
<b>Costo Astillas (\$/kg)</b>	9	27	38	42	72
<b>VAC</b>	\$340.839.665	\$233.308.396	\$168.789.634	\$143.699.005	-\$35.519.776
<b>TIR</b>	13,0%	10,7%	9,2%	8,6%	4,0%
<b>PRI</b>	7	8	9	10	14

Tabla 53 Evaluación económica para astillas con H35%

### 11.1.2 Estudio de Prefactibilidad 2 para Campus Teja

Según antecedentes proporcionados por la Dirección de Servicios de la UACH, la institución toma la decisión de contratar un segundo estudio de prefactibilidad que consiste en desarrollar un estudio de factibilidad de un sistema distrital de calefacción y cogeneración para el Campus Teja (EBP Chile SpA, 2017). El alcance de este estudio es superior al anterior y se indican en la Tabla 54 cuando se estiman las superficies y edificios a calefaccionar.:

<b>Edificio</b>	<b>Superficie (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Biblioteca</b>	4.781
<b>Dirección Asuntos Estudiantiles</b>	3.340
<b>Edificio Emilio Pugin</b>	10.617
<b>Anatomía Humana</b>	1.868
<b>Pabellón Docente</b>	1.243
<b>Geología</b>	1.110
<b>Ciencias Biomédicas</b>	4.436
<b>Enfermería</b>	1.223
<b>Filosofía y Humanidades</b>	1.733
<b>Arquitectura</b>	1.624
<b>Ciencias Sociales</b>	1.427
<b>Edificio Nahmias</b>	S/I
<b>Total</b>	33.402

Tabla 54 Edificios del Camus Teja considerados en estudio de prefactibilidad 2

Para este estudio se ha considerado una potencia instalada de 4.481 kW en calderas diésel para calefacción. No se ha considerado en el estudio el hecho de que en diversas oficinas y salas se utilizan calefactores eléctricos como apoyo. La energía total demandada por los edificios del Campus Teja es de 1,87 MWh/año, el cual será cubierto en un 85% por astillas combustibles y un 15% por diésel.

En base a información de los años 2015-2016 se ha determinado que los sistemas de calefacción consumen 204.419 l/año de diésel, con un costo operacional de cerca de \$91.000.000, los que son insuficientes para cubrir las necesidades de confort térmico de los recintos considerados, en mayor o menor grado. El valor referencial del costo unitario del petróleo diésel para la UACH es de \$450/l.

Para los fines de evaluación de la opción de cogeneración se analizan los consumos de energía eléctrica del Campus, obteniéndose valores promedio de electricidad de \$112/kWh y \$108/kWh, para los empalmes Teja Norte y Edificio Pugin, respectivamente, la Tabla 55 presenta los antecedentes de potencia, consumo y costos de los empalmes considerados en el estudio.

Empalme	Potencia Conectada (kW)	Consumo de Energía (kWh/año)	Costo Anual (\$/año)
<b>Teja Norte</b>	2.000	2.875.00	363.566.284
<b>Edificio Pugin</b>	1.281	1.134.000	132.685.483

Tabla 55 Consumos y costos por uso de energía eléctrica en Campus Teja

Para el análisis del estudio, el anteproyecto considera distintos tipos de combustibles, estos son presentados en Tabla 56 donde se puede apreciar las significativas diferencias de estos, para el caso particular de astillas combustibles, el porcentaje de humedad afectando significativamente sus costos y capacidades caloríficas.

Energético	Precio Físico Neto	Precio unitario (\$/kWh)
<b>Astillas 55%</b>	\$7.500/m <sup>3</sup>	9.4
<b>Astillas 40%</b>	\$9.500/m <sup>3</sup>	10.6
<b>Diésel</b>	\$443/l	41.6
<b>Gas Natural</b>	\$474/m <sup>3</sup>	43.6
<b>Gas Licuado</b>	-	43.6
<b>Electricidad Gestionada</b>	\$77.7	77.7
<b>Electricidad BaU</b>	\$120	120

Tabla 56 Costos unitarios de energéticos análisis de estudio Campus Teja

Para la logística de abastecimiento de combustible, el estudio de prefactibilidad considera como combustible primario a las astillas con un contenido de humedad de 55%. La Tabla 57 muestra el consumo de combustible mensual de la central distrital en este nuevo escenario.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Consumo (m <sup>3</sup> )				333	307	540	326	555	414	217		
Consumo (ton)				117	107	189	114	194	145	76		

Tabla 57 Consumo de combustible para estudio de prefactibilidad 2 (EBP Chile SpA, 2017)

Con estos antecedentes el estudio muestra y analiza diferentes opciones tecnológicas, como, por ejemplo, calderas convencionales, sistema de cogeneración, uso de grupo electrógeno, proceso de gasificación y uso de bombas de calor. Todas estas opciones desde un punto de vista cualitativo y teniendo en cuenta las distintas opciones de combustibles en la generación térmica.

Las conclusiones preliminares a las que se ha llegado, en cuanto a las mejores opciones para generación térmica, son: uso de calderas convencionales consumiendo astillas con humedad de 55%, uso de calderas convencionales consumiendo astillas con humedad de 40%, uso de bombas de calor agua/agua y bombas de calor geotérmica. La opción de usar bombas de calor es descartada producto de las condiciones actuales de la envolvente térmica de los edificios considerados en el estudio.

Respecto a la posibilidad de generación eléctrica, en consideración a los altos costos de electricidad que tiene la UACH, se descartó la opción con biomasa, debido a sus altos costos de inversión de la tecnología, se compararon estos costos con antecedentes recopilados y presentados en sección Costos de Inversión de Tecnologías de Conversión del Capítulo previo los que generan un período de retorno elevado para lo requerido por la UACH, que debiera ser menor a 5 años.

Por lo anterior, se concluye que las alternativas viables son generación de energía térmica con biomasa y cogeneración con combustibles gaseosos, como el gas licuado y/o gas natural. En base a lo anterior, para los fines de este estudio, se deja descartada la opción de cogeneración.

En las Figura 68 y Figura 69, se muestra el emplazamiento de edificios considerados en el estudio de prefactibilidad 2 de la UACH y el trazado de matrices de calefacción respectivamente, esta última consiste en una red de distribución con dos ramales principales que se originan desde la sala de calderas.



Figura 68 Ubicación edificios considerados en proyecto (EBP Chile SpA, 2017)



Figura 69 Trazado matrices de calefacción de proyecto (EBP Chile SpA, 2017)

El dimensionamiento térmico de la central distrital se realiza en base a los siguientes criterios:

- J) Potencias térmicas máximas de los quemadores de las calderas actualmente instaladas en los edificios considerados.

- ) Antigüedad de las calderas diésel existentes, para evaluar su utilización como apoyo en el sistema de generación térmica.
- ) Curva de duración de demanda de acuerdo con las temperaturas horarias promedio entre los años 2013 y 2017.

Por tanto, se propone en el estudio una central de una potencia de alrededor de un 40% de la potencia máxima, lo cual junto el sistema de acumulación permite estimar en un 75% la energía consumida a través del sistema de energía distrital. La capacidad de la central térmica es de 1.7 MW.

Se analizan tres opciones para la central térmica:

- a) Calderas de biomasa con respaldo diésel.
- b) Calderas de biomasa y gas, cogeneración con gas y respaldo diésel.
- c) central térmica en base a gas licuado o natural con cogeneración.

La evaluación económica de las tres alternativas muestra que sólo la opción a) es rentable. Los casos que involucran cogeneración no resultan rentables, debido a dos factores principales; la disminuida cantidad de horas de operación de la central térmica y el precio de la energía eléctrica.

#### 11.1.2.1 Evaluación Técnico-Económica de Proyecto

De acuerdo con los antecedentes presentados previamente, se ha determinado hacer algunas correcciones respecto a las capacidades y los equipos considerados para satisfacer la demanda del proyecto. Se ha considerado una central a biomasa compuesta por dos calderas, cuyas capacidades son de 1,1 MW y 0,6 MW respectivamente, las eficiencias y los combustibles a usar son presentados en la Tabla 58 con los nuevos valores calculados.

Combustible	Energía Combustible (kWh/año)	Eficiencia Sistema
Astillas	1.986.875	80%
Diésel	330.000	85%
<b>Energía Total de Combustibles</b>	<b>2.316.875</b>	

Tabla 58 Transformación de energéticos primarios

Los consumos de combustibles se determinaron de la misma forma que para el estudio presentado anteriormente, pero considerando las diferencias en cuanto a consumo, la Tabla 59 y la Tabla 60 presentan estas características.



Astilla Combustible	Valores
Tipo de Astilla - Especie	PR
Formato	G30
Poder Calorífico Superior Seco	19,5 MJ/kg
Poder Calorífico Superior Seco	5,4 kWh/kg
Porcentaje de Humedad	55%
Poder Calorífico Inferior Húmedo	3,89 MJ/kg
Consumo de astillas húmedo	962.297 kg/año

Tabla 59 Características de astilla combustible H55%

Combustible Diésel	Valores
Poder Calorífico Inferior	11,82 kWh/kg
Consumo	5.178 kg/año
Densidad	0,84 kg/l
Consumo de Diésel	33.237 l/año

Tabla 60 Características del diésel

Los costos de inversión del proyecto son extraídos del estudio de prefactibilidad como fue mencionado previamente, estos son; una inversión inicial de \$847.928.230, CAPEX y costos anuales de mantención de \$13.566.852 (EBP Chile SpA, 2017), sin embargo, este último valor fue corregido usando información detallada del fabricante de calderas KWB en donde se pudieron reducir estos costos a un 1% del costo de estas (KWB, 2018) considerando un periodo de hasta 5 años.

Se ha considerado para la evaluación económica del flujo de caja la variabilidad del precio de la astilla combustible de la misma forma que para el estudio presentado previamente. Considerando el recambio de combustible diésel por astillas, la evaluación económica es realizada en base a los ahorros por el uso de estas astillas, la Tabla 61 presenta los ahorros por el recambio de combustible cuando se considera la variabilidad del contenido de humedad de la astilla combustible. La fuente de financiamiento del proyecto ha sido considerada como una inversión de recursos propios.

Costos y Ahorros						
Costos Astillas	(USD/ton)	15	45	63	70	120
	(\$/kg)	9	27	38	42	72
Porcentaje Humedad (H)	35%	\$79.309.316	\$68.417.725	\$61.882.770	\$59.341.399	\$41.188.747
	40%	\$78.752.245	\$66.746.510	\$59.543.069	\$56.741.731	\$36.732.173
	50%	\$77.208.248	\$62.114.520	\$53.058.283	\$49.536.413	\$24.380.200

Tabla 61 Ahorros reemplazo de diésel por astillas

La Figura 70 presenta gráficamente los resultados de los ahorros usando astillas, mostrando claramente como el contenido de humedad también afecta a dichos ahorros, mientras menor sea el porcentaje de humedad mayores serán los ahorros. La Tabla 62 presenta el resto de los parámetros económicos usados para la evaluación del proyecto de calefacción distrital de la UACH.

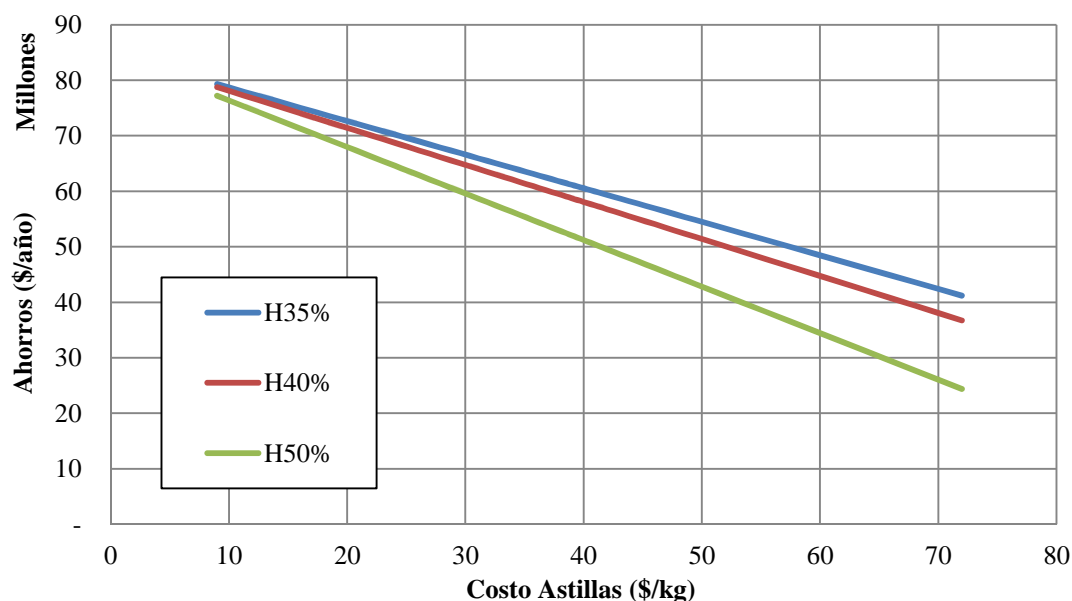


Figura 70 Ahorro reemplazo diésel por astillas

Parámetro	Dato
Valor USD	\$599,0
Depreciación Anual	20%
Período de Depreciación	20 años
Tasa de Interés para Préstamo	4,6%
Tasa de Descuento	5,0%
Período de Evaluación	20
Inflación de Precios de Astilla	1,0%
Inflación de Precios de Diésel	2,0%
Inflación de Costos de Mantenición	1,0%

Tabla 62 Parámetros económicos para evaluación

Los resultados de la evaluación económica están presentados en la Tabla 63, donde se puede apreciar que el proyecto presenta una viabilidad hasta un costo de astillas de \$15/kg, esto quiere decir, un VAC positivo. Cuando se considera el costo de la astilla superior a este valor, el proyecto se hace inviable. Respecto al PRI es posible inferir que mientras más bajo el costo de la astilla el proyecto se viabiliza en un periodo más corto, como era de esperar.

Costo Astillas (USD/ton)	15	45	63
Costo Astillas (\$/kg)	9	27	38
VAC	\$13.455.604	-\$105.671.120	-\$177.147.154
TIR	5,2%	3,5%	2,5%
PRI	13	15	17

Tabla 63 Evaluación económica para astillas con H35%

### 11.1.3 Estudio de Prefactibilidad 3 para Campus Miraflores

La UACH, siguiendo la línea de desarrollo de sustentabilidad, ha tomado la iniciativa de desarrollar un proyecto de calefacción distrital para abastecer a un sector del Campus Miraflores de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, FCI, (UACH, 2015).

En el contexto de este estudio, se considera la prefactibilidad de instalar una planta de calefacción distrital en el sector alto del Campus Miraflores, considerando que es el actual polo de desarrollo de la FCI. La Tabla 64 presenta los edificios considerados en el estudio (Moreno, 2018b).

Nombre del Edificio	Superficie Habitable (m <sup>2</sup> )
<b>Edificio 6000</b>	2.878
<b>Edificio 8000</b>	2.098
<b>Edificio 9000</b>	1.705
<b>Edificio 10000</b>	1.207
<b>Biblioteca</b>	955
<b>Instituto de Acústica</b>	800
<b>Ingeniería Industrial</b>	699
<b>Total</b>	10.342

Tabla 64 Edificios considerados para el proyecto Campus Miraflores

El emplazamiento del proyecto se muestra en la Figura 71, con una sala de máquinas de 90 m<sup>2</sup> emplazada en el sector A que cuenta con un depósito para el almacenamiento de la biomasa combustible.



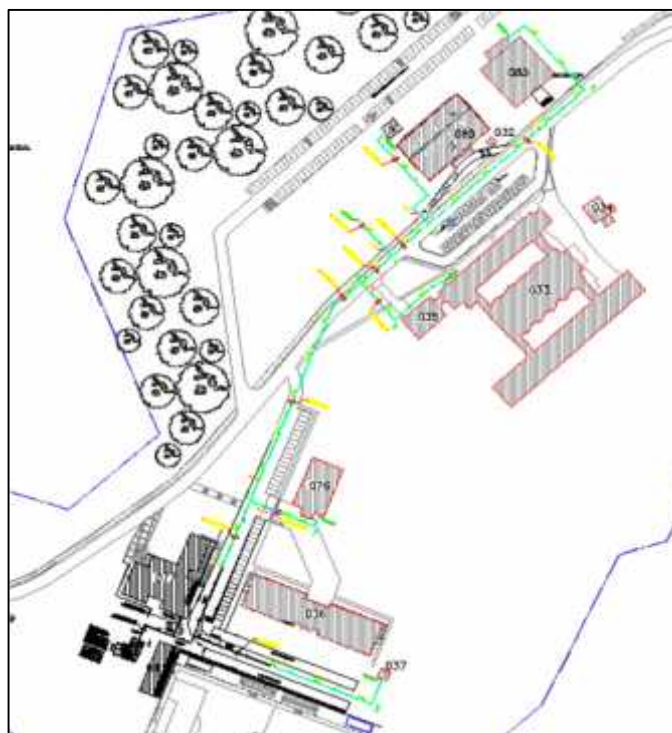


Figura 71 Emplazamiento proyecto de calefacción distrital Campus Miraflores

La Tabla 65 presenta la demanda térmica de los edificios considerados en el estudio. El 85% de esta carga debieras ser cubierto por astillas combustible, un 7,5% cubierta por diésel y el restante 7,5% por electricidad. La potencia de la central de biomasa considera los equipos existentes en cada uno de los edificios, estos son presentados en la Tabla 66.

Nombre del Edificio	Carga Térmica (kW)	Carga Térmica por Superficie (W/m <sup>2</sup> )
<b>Edificio 6000</b>	326,50	126
<b>Edificio 8000</b>	90,95	43
<b>Edificio 9000</b>	97,80	57
<b>Edificio 10000</b>	62,79	52
<b>Biblioteca</b>	77,93	82
<b>Instituto de Acústica</b>	34,68	43
<b>Ingeniería Industrial</b>	64,44	92

Tabla 65 Carga térmica de los edificios considerados para el proyecto Campus Miraflores

Nombre del Edificio	Carga Térmica (kW)	Equipos Considerados
<b>6000</b>	326,5	Caldera a Leña
<b>8000</b>	90,9	Caldera a Diesel
<b>9000</b>	21,0	Caldera a Diesel
<b>10000</b>	26,0	Bomba Calor Aire/Agua
<b>Biblioteca</b>	67,9	Bomba Calor Agua/Aire
<b>Instituto de Acústica</b>	34,7	-
<b>Ingeniería Industrial</b>	50,0	Caldera a Diesel
<b>Total</b>	617,0	

Tabla 66 Equipos considerados para determinar la potencia de la central de biomasa

De esta potencia, el presente anteproyecto distrital contempla cubrir una potencia de 450 kW y el diferencial debiera ser cubierto por las actuales calderas o bombas de calor, las que se contempla mantener para cubrir sólo los periodos de alta demanda de calefacción. Se considera para las fuentes de calor, calderas, una temperatura de suministro de 85°C, en el supuesto que se obtendrá en los puntos de suministro, intercambiadores de calor, una temperatura de aproximadamente 80°C.

El caudal de la matriz principal se calcula de modo que el diferencial de temperatura sea de 10°C, es decir, la temperatura de retorno es de aproximadamente 70°C. El caudal de agua requerido es de 39.6 m<sup>3</sup>/h.

Para el proyecto se consideran dos calderas de biomasa, cuyo ciclo de trabajo es el siguiente; cada caldera produce el calor que se trasmite al flujo de agua, la cual circula sólo por la red primaria hacia el estanque inercial respectivo para garantizar los 85°C en ese punto de acumulación, luego el agua circula hacia el colector surtidor común para ambas calderas en funcionamiento. El colector surtidor, reúne el caudal de agua proveniente de ambas calderas para luego ser distribuido mediante el circuito de calefacción secundario hacia los intercambiadores de calor de placas instalados en cada uno de los edificios considerados en el proyecto distrital. El agua proveniente del colector surtidor alcanza en este punto los 80°C aproximadamente.

El agua después de fluir por el interior de los intercambiadores de calor es recogida por la red de retorno directo a una temperatura de 70°C para ser transportada hacia el colector de retorno y posteriormente hacia cada uno de los estanques de inercia y finalmente a las calderas.

Se proponen dos fuentes de calor principal a biomasa para suministrar el calor directo y calentar los dos estanques de inercia, considerando uno por caldera. El volumen de ambos estanques de 5.000 l considerando el siguiente criterio; por cada kW de potencia, se asumen 20 l de acumulación, de esta manera, el volumen total entre ambos estanques es de 10.000 l.

Para temperaturas de retorno bajo los 70°C se activan las otras fuentes auxiliares de calor, que para el caso son las calderas y bombas de calor existentes en la FCI.

Se proyecta una red de suministro y retorno de agua instalada en canal de concreto con aislación de lana mineral de 25 mm de espesor. Se proyecta la red de suministro y retorno desde la sala de calderas a los edificios con tuberías Clima Flow CT Faser cuyo material es polipropileno copolímero Random debido a sus excelentes propiedades anticorrosivas y gran resistencia a altas temperaturas.

El dimensionamiento de la red de suministro y retorno se realiza en base al plano de emplazamiento del Campus Miraflores proporcionado por la Dirección de Infraestructura de la UACH.

Tras haber efectuado el análisis de la demanda térmica y las pérdidas de calor en la red, se seleccionan las máquinas térmicas más adecuada. Las calderas seleccionadas son de tipo comercial e industrial de la marca KWB, representada en Chile por la empresa “Energía del Sur”, ya que es posible contar con asesoría y servicio técnico dentro del país. De esta manera, se opta por seleccionar dos calderas KWB Powerfire TDS 240, las cuales poseen una potencia nominal de 245 kW cada una.

#### 11.1.3.1 Consumo de Energía y Costos Operacionales

Para el cálculo de la cantidad de combustible anual, se utilizan, en principio, las siguientes recomendaciones que entrega la empresa KWB para el tipo de caldera seleccionada:

- ) Para astillas, considerar un factor de consumo por año de 2.5 m<sup>3</sup>/kW de potencia instalada. Esta recomendación se aplica solo cuando se utilizan astillas de madera con un contenido de humedad del 25% y un granulado de G30 según la norma ÖNORM M 7133.
- ) Para pellets, considerar un factor de consumo por año de 400 kg/kW de potencia instalada. Esta recomendación se aplica cuando se utilizan pellets con certificación DIN plus. La densidad de almacenado de este producto no debe ser menor que 650 kg/m<sup>3</sup>.

De esta manera, para una potencia instalada de 490 kW se obtiene el siguiente consumo anual:

- ) Consumo anual de astillas G30 de 1.225 m<sup>3</sup>.
- ) Consumo anual de pellets de 196.000 kg equivalentes a 302 m<sup>3</sup>.

En base a un estudio más detallado, usando la metodología de Grados Día de la Norma Chilena NCh 1078 (INN, 2008), se ha determinado el consumo mensual y anual de astillas, de diésel y electricidad para cubrir el periodo de alta demanda de calefacción, tal como se presenta en la Tabla 67 (Moreno, 2018a).

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Consumo (ton)</b>				21,7	19,8	35,0	21,1	35,9	26,8	14,1		
<b>Consumo Diesel (l)</b>				766	701	1.238	746	1.270	949	498		
<b>Consumo Electricidad (kWh)</b>				2.385	2.181	3.853	2.324	3.955	2.956	1.549		
<b>Costo de Astillas (USD/año)</b>				1.516	1.387	2.450	1.478	2.514	1.879	985		
<b>Costo de Diésel (USD/año)</b>				573	525	928	560	953	712	373		
<b>Costo de Electricidad (USD/año)</b>				309	282	499	301	512	383	201		

Tabla 67 Consumo de combustible para proyecto Campus Miraflores

De la misma forma que para los estudios previos, se determinaron los consumos de combustibles, estos están presentados en la Tabla 68 y la Tabla 69.

Astilla Combustible	Valores
Tipo de Astilla - Especie	PR
Formato	G30
Poder Calorífico Superior Seco	19,5 MJ/kg
Poder Calorífico Superior Seco	5,4 kWh/kg
Porcentaje de Humedad	25%
Poder Calorífico Inferior Húmedo	3,89 MJ/kg
Consumo de astillas húmedo	177.128 kg/año

Tabla 68 Características de astilla combustible H55%

Combustible Diésel	Valores
Poder Calorífico Inferior	11,82 kWh/kg
Consumo	5.178 kg/año
Densidad	0,84 kg/l
Consumo de Diésel	6.164 l/año

Tabla 69 Características del diésel

### 11.1.3.2 Características y Diseño Sala de Calderas y Silo de Almacenamiento

La sala de calderas se ubicará al interior del Campus Miraflores a un costado del estadio de la UACH, como se presentó en Figura 71. El diseño y construcción se ajustará a las especificaciones técnicas señaladas por el fabricante de las calderas, además, se considera el sistema de alimentación y un sistema de extracción de cenizas. La Figura 72 y Figura 73 presentan el diseño referencial propuesto por el fabricante. La Tabla 70 presenta los equipos principales y algunas de sus características fundamentales.

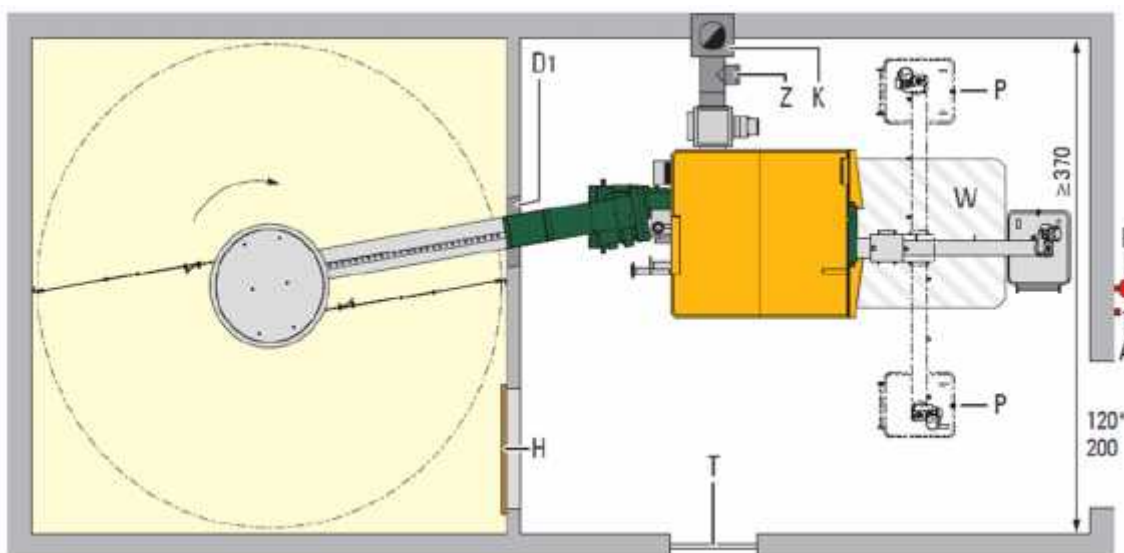


Figura 72 Vista de planta diseño sala de calderas propuesto por fabricante (KWB, 2018)

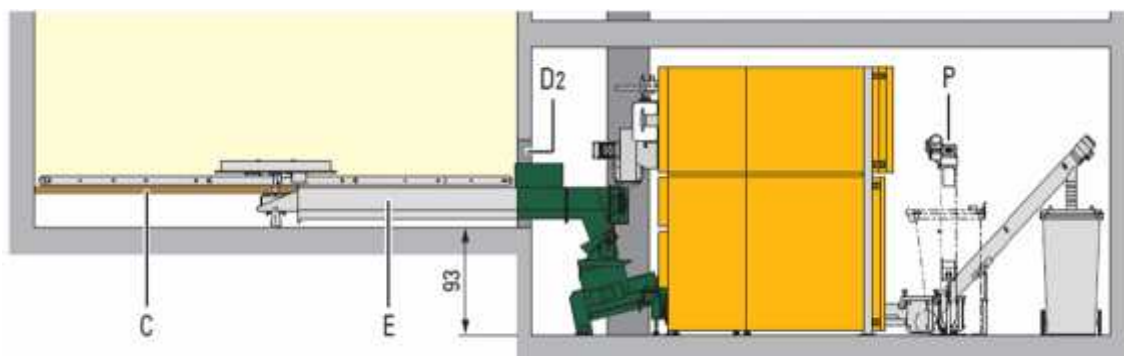


Figura 73 Plano alzado diseño sala de calderas propuesto por fabricante (KWB, 2018)

Identificador	Equipo y Características
A	Interruptor de parada de emergencia. NO se corta la corriente de la caldera, pero se detiene la combustión. La disipación de calor continua.
C	Suelo falso: se recomienda ventilación posterior.
D1	Pasamuros 60x65 cm: cerrar después del montaje, aislar acústicamente el canal.
D2	Pasamuros 100x80 cm: cerrar después del montaje, aislar acústicamente el canal.
E	Canal de transporte incrustado en el suelo falso.
F	Extintor de incendios.
H	Tablas de protección para la puerta para aliviar la presión.
K	Chimenea: ejecución del tubo de salida de humos y la chimenea según la tabla "Datos Técnicos".
P	Posición alternativa del contenedor de cenizas.
T	Ventana: ventilación y extracción de aire: 5 cm <sup>2</sup> /kW.
W	Área de mantenimiento.
Z	Regulador de tiro de bajo consumo: montaje con puerta de seguridad contra exposiciones.

Tabla 70 Equipos principales calderas KWB (KWB, 2018)

Es importante mencionar que el diseño propuesto por el fabricante es referencial e incluye sólo una caldera, sin embargo, como este proyecto contará con dos calderas de las mismas características, éstas estarán instaladas en forma contigua respetando las dimensiones de instalación propuestas por el fabricante, así como también la materialidad utilizada para la sala de calderas.

El suelo debe ser de hormigón armado sin recubrimiento o alicatado. Todos los materiales utilizados en el suelo, paredes y techo tienen que ser ignífugos de la clase F90 e impermeabilizados. Las puertas de la sala de calderas tienen que ser antiincendios, abrir en la dirección de escape y deben cerrarse automáticamente. Para la puerta de comunicación con el silo de combustible deben respetarse estas mismas indicaciones.

Las ventanas de la sala de calderas no deben abrirse; la abertura de ventilación no se podrá cerrar y tendrá 5 cm<sup>2</sup>/kW de potencia nominal de la instalación de calefacción, pero como mínimo 750 cm<sup>2</sup>. Se debe prever una abertura de ventilación cerca del suelo y otra cerca del techo; la tubería de entrada de aire tiene que conducir directamente al exterior y deben cerrarse por fuera con una rejilla de protección

con un ancho de malla menor a 5 mm. Se debe instalar un sistema de iluminación fijo y una línea de alimentación eléctrica a la instalación de calefacción; la luz y el interruptor de emergencia debidamente señalizado de la calefacción tienen que colocarse en el exterior de la sala de calderas, en un lugar fácilmente accesible junto a la puerta de la sala de calderas. Se debe tener disponible un extintor manual de 6 kg en el exterior de la sala de calderas junto a la puerta de ésta. La chimenea debe ser protegida con lana mineral y protegida con forro de plancha galvanizada, con elementos anti vibratorios.

Para el diseño del silo se aplican los mismos requisitos constructivos que para la sala de calderas. En el centro del silo se coloca el agitador que se fija al suelo de hormigón con tornillos de anclaje. Al mismo nivel que el borde superior del sistema de alimentación debe montarse un suelo falso con ventilación posterior. El pasamuros, de ancho 50 cm y altura 60 cm, entre el silo y la sala de calderas para el canal de alimentación tiene que aislarse a prueba de incendios con lana mineral. El silo de almacenamiento es diseñado para almacenar un volumen capaz de mantener la autonomía del sistema de calefacción distrital durante el periodo de cuatro meses aproximadamente, es decir, 100,7 m<sup>3</sup> si se utiliza como combustible el pellet.

### 11.1.3.3 Costos de Inversión Inicial

La inversión inicial es el principal costo para la red distrital y está compuesta por el sistema de calefacción, mano de obra de instalación y la construcción de obras civiles. El sistema de calefacción incluye las calderas, accesorios y la red de cañerías. La Tabla 71 presenta una estimación preliminar de los costos de inversión.

Cantidad	Ítem	Costo (USD)
2	Calderas KWB Powerfire TDS 240 de 245 kW	123.496
2	Kit de extracción combustible con agitador.	13.992
2	Kit chimenea Powerfire TDS 240	1.236
2	Sistema electrónico caldera Powerfire TDS 240	3.325
2	Estanque Inercial de 5000 l.	11.426
4	Bomba de agua caliente para circuito primario.	3.728
1	Matriz de calefacción 1500 m.	31.959
1	Matriz circuito primario.	327
2	Bombas de agua caliente para circuito de calefacción.	7.326
2	Depósitos de expansión de 500 l.	2.250
7	Intercambiadores de placa.	1.099
	Obras civiles para sala de máquinas y silo.	11.228
	Aislación de matrices.	4.872
	Fittings, válvulas, accesorios y otros.	29.995
	Total, costo de inversión	246.259

Tabla 71 Estimación de costos de inversión



Dado que algunos de los edificios cuentan con red de radiadores o emisores de calor con agua caliente, la distribución de calor interior se puede realizar con mínimos cambios y mínima inversión, por lo que no se considera en esta estimación:

- ) La inversión necesaria para la adquisición del combustible y transporte de éste hasta el silo.
- ) Los costos de mantención de la central térmica, que se estiman en un 1% del costo de los componentes electro/mecánicos.
- ) El montaje e instalación de los equipos.
- ) La instalación de las matrices de agua caliente al interior de los edificios del Campus Miraflores.
- ) Los costos de materiales y elementos para el sistema eléctrico.
- ) Los costos de instalación eléctrica.
- ) Los costos de mano de obra para la construcción de la central térmica.

Considerando los valores antes expuestos, la inversión inicial es del orden de USD 246.259, por lo tanto, si se considera los gastos generales y utilidades en un 20% del valor anterior y el IVA, la estimación del costo de inversión inicial es de USD 351.658. Por lo tanto, la estimación de costo unitario es de aproximadamente USD 781/kW instalado. De esta manera, un sistema de calefacción distrital presenta significativas ventajas en comparación con un sistema individual de calefacción, entre ellas se encuentran la disminución de emisiones contaminantes, importantes ahorros en mano de obra y mantención de las mismas fuentes de calor y mejor gestión del calor.

Cuando se comparan estos valores con los referenciados y obtenidos de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2017), es posible apreciar que los costos obtenidos se acercan más a los considerados para una instalación bajo estándares europeos que bajo estándares sudamericanos, esto debido principalmente al origen austriaco de las calderas de la planta. Se estima que considerando proveedores sudamericanos estos costos pudiesen ser reducidos y llegar a valores bajo los USD 600/kW instalado.

En cuanto a los costos fijos de mantención, la Agencia Internacional de Energías Renovables presenta valores en el rango del 3% a 4% del CAPEX para este tipo de proyectos, se estimaron estos altos porcentajes debido a la gran variabilidad de proyectos analizados para su valorización, esto incluye la consideración de capacidades muy por encima de las de este proyecto distrital (IRENA, 2017). Para este estudio se ha preferido usar información referencial de los proveedores de los equipos logrando disminuir estos costos hasta un 1% del CAPEX (KWB, 2018), pero considerando solamente a los



equipos electro/mecánicos por lo que los costos fijos de mantención se estimaron en el orden de los USD 1.519 por año. Además, se considera una inflación anual de los costos mantención del 1%.

#### 11.1.3.4 Evaluación Técnico-Económica de Proyecto

Se ha considerado para la evaluación económica del flujo de caja la variabilidad del precio de la astilla combustible de la misma forma que para los estudios presentado previamente. Considerando el recambio de combustible diésel por astillas, la evaluación económica es realizada en base a los ahorros por el uso de estas astillas, la Tabla 72 presenta los ahorros por el recambio de combustible cuando se considera la variabilidad del contenido de humedad de la astilla combustible. La fuente de financiamiento del proyecto ha sido considerada como una inversión de recursos propios.

Costos y Ahorros						
Costos Astillas	(USD/ton)	15	45	63	70	120
	(\$/kg)	9	27	38	42	72
Porcentaje Humedad (H)	35%	\$29.058.475	\$25.278.424	\$23.010.393	\$22.128.381	\$15.828.295
	40%	\$28.865.137	\$24.698.410	\$22.198.373	\$21.226.136	\$14.281.590
	50%	\$28.329.276	\$23.090.824	\$19.947.754	\$18.725.448	\$9.994.697

Tabla 72 Ahorros reemplazo de diésel por astillas

La Figura 74 presenta gráficamente los resultados de los ahorros usando astillas, mostrando claramente como el contenido de humedad también afecta a dichos ahorros, mientras menor sea el porcentaje de humedad mayores serán los ahorros. La Tabla 73 presenta el resto de los parámetros económicos usados para la evaluación del proyecto de calefacción distrital Campus Miraflores de la UACH.

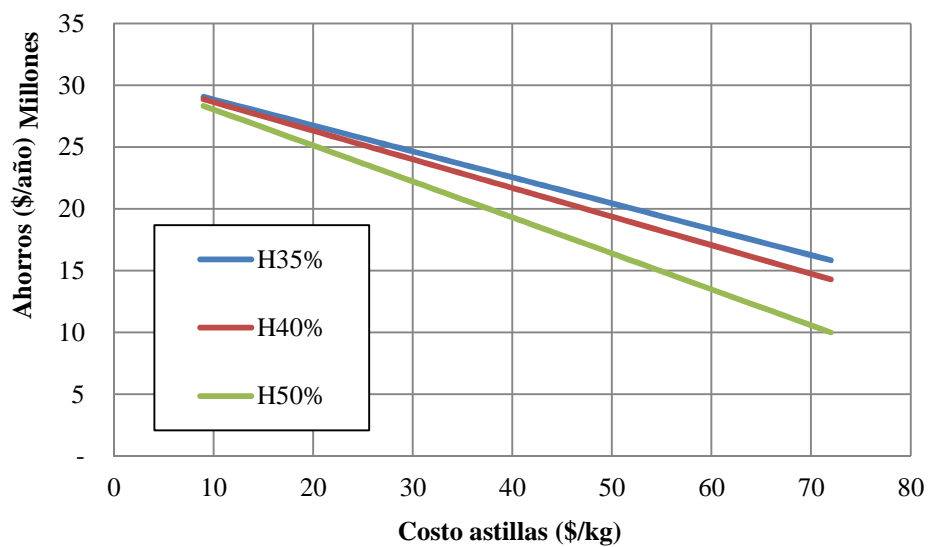


Figura 74 Ahorro reemplazo diésel por astillas

Parámetro	Dato
Valor USD	\$599,0
Depreciación Anual	20%
Período de Depreciación	20 años
Tasa de Interés para Préstamo <sup>26</sup>	4,6%
Tasa de Descuento	5,0%
Período de Evaluación	20
Inflación de Precios de Astilla	1,0%
Inflación de Precios de Diésel	2,0%
Inflación de Costos de Mantención	1,0%

Tabla 73 Parámetros económicos para evaluación

Los resultados de las evaluaciones económicas, con recursos propios y crédito bancario se presentan en la Tabla 74 y Tabla 75, respectivamente. En ambos casos se ha considerado un contenido de humedad de la astilla del 35%.

Costo Astillas (USD/ton)	15	45	63	70	120
Costo Astillas (\$/kg)	9	27	38	42	72
VAC	\$96.646.082	\$55.301.788	\$30.035.831	\$20.848.210	-\$48.058.946
TIR	9,7%	7,8%	6,6%	6,1%	2,2%
PRI	9	10	11	12	17

Tabla 74 Evaluación económica con fuente de financiamiento recursos propios.

En la Tabla 57 se puede apreciar que el proyecto presenta una viabilidad hasta un costo de astillas de \$42/kg, esto quiere decir, un VAC positivo siendo la única diferencia el PRI.

Si se considera que la UACH solicita un crédito por el 100% del CAPEX, y se evalúa el flujo de caja, se puede determinar en forma preliminar que con los ahorros obtenidos es posible cancelar los compromisos del crédito. En la Tabla 75, se puede observar que el proyecto mejora su evaluación económica y es viable hasta un costo de astillas de \$42/kg.

Costo Astillas (USD/ton)	15	45	63	70	120
Costo Astillas (\$/kg)	9	27	38	42	72
VAC	\$119.248.617	\$77.904.324	\$52.638.366	\$43.450.745	-\$25.456.411

Tabla 75 Evaluación económica con fuente de financiamiento crédito bancario

<sup>26</sup> Estadísticas monetarias y financieras Banco Central.

La incertidumbre de estas tres evaluaciones de proyectos asociados a la UACh, ha sido considerada por la volatilidad de los precios de los combustibles considerados, donde la astillas, como se pudo apreciar en la Tabla 53 presenta un rango muy amplio de valores, que están determinados mayoritariamente por; la disponibilidad, costos de transporte, contenido de humedad y costos de las tecnologías asociadas a su transformación en energía disponible. Para el caso del combustible diésel, la baja en su precio genera que los ahorros que se pudiesen producir al reemplazarlo con astillas combustibles no sean tan significativos. Un alza en el precio del diésel propiciaría un aumento de los ahorros y posterior viabilidad en un periodo más corto de los proyectos evaluados.

La disponibilidad de astillas combustibles en la región de Los Ríos, de acuerdo a los antecedentes recopilados y a cotizaciones de proveedores, es suficiente para dar abasto a la demanda de las plantas, sin embargo, cuando se considera que uno de los resultados de este estudio es determinar la disponibilidad de biomasa residual, el considerar astillas adquiere un nuevo significado donde se debe considerar el proceso general de transformación del residual a un biocombustible con características específicas para los equipos que las consumirán, la granulometría considerando el proceso de astillado es fundamental.

Los costos de transporte están asociados al lugar donde la biomasa residual y la posterior transformación en astillas son llevados a cabo, esta variable ha sido abordada y se ha presentado como la gran variación en el costo de la astilla combustible final a ser consumida por los equipos de las instalaciones.

El contenido de humedad está asociado a que las condiciones de secado natural de la biomasa sean tal que permitan lograr los porcentajes aceptados por los equipos de las instalaciones; esto, a su vez, afecta las características de densidad y de cantidad necesaria a ser consumida para poder dar abasto a las necesidades energéticas de las plantas. Los resultados de las evaluaciones económicas de los proyectos muestran esta condición en donde, bajos niveles de humedad propician un aumento en los ahorros de cambio de combustible disminuyendo los periodos de retorno de las inversiones.

Los costos de las tecnologías han sido revisado y considerados desde la perspectiva de los proveedores, cuando estos presentan equipo sofisticado, mayoritariamente de Europa y Norte América los costos de la inversión inicial son altos a tal punto de lograr anular los ahorros por el cambio de combustible. Los estudios para los casos 1 y 2 del Campus Teja presentan un grado de ambigüedad respecto a las tecnologías asociadas cuando se comparan con el caso 3 del Campus Miraflores, el cual ha sido evaluado considerando una memoria de cálculo de todos los equipos necesarios para su

implementación obteniendo cotizaciones adecuadas para poder determinar los costos de la inversión inicial lo más fidedignos posible.

Por último, una gran consideración respecto a los proyectos evaluados es que el reemplazo del diésel como combustible primario no ha sido considerado ser un 100%; en el mejor de los casos se podría reemplazar hasta en un 85%, lo que deja un margen de acción considerable en cuanto a costos e impacto de las plantas evaluadas. Esto es debido a que la central de biomasa más el estanque de inercia podrían cubrir aproximadamente este porcentaje de la demanda anual de calefacción y el 15% restante, que se presentará durante la demanda más alta de los meses más fríos de invierno, deberá ser cubierto necesariamente con los equipos existentes en las actuales instalaciones y que se debieran mantener para tales fines. Este reemplazo parcial fue considerado debido a que las tecnologías de los edificios más nuevos están asociadas al consumo de diésel y a bombas de calor y su reemplazo requeriría consideraciones de cambio de quemadores para adaptarlos a consumir astillas en el caso de calderas diésel y el total reemplazo en el caso de las bombas de calor, lo que implicaría un aumento de los costos iniciales de inversión. También debido a que los periodos de alta demanda son exclusivamente en invierno y solo por cortos periodos por lo que se asume que usar los equipos de respaldo no representaría un impacto significativo en los costos de combustible. Los costos de tecnologías y el recambio de quemadores son opciones que se evaluarán en el Capítulo Optimización de la Ingeniería Básica de Proyecto Seleccionado “Campus Miraflores” en donde una detallada consideración de estos nuevos equipos será llevada a cabo.

## **11.2 Prefactibilidad de Planta Cogeneración Aserraderos Timberni**

El siguiente proyecto en estudio corresponde a la posibilidad de adaptar una planta de cogeneración a la existente planta de vapor industrial que Aserraderos Timberni posee y mantiene en servicio para sus procesos productivos que son mayoritariamente de secado de madera. Actualmente, la planta opera con una caldera de 28 ton/h de capacidad de producción de vapor con una presión máxima de servicio de 28,1 kg/cm<sup>2</sup>. La Tabla 76 presenta los datos generales de la planta.

Componentes y Variables	Planta Condiciones Actuales
<b>Tipo de Caldera</b>	Acuotubular en servicio continuo todo el año
<b>Presión máxima de trabajo</b>	28,1 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Presión de operación</b>	14,5 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Año de fabricación</b>	1971
<b>Superficie de calefacción</b>	942 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad de producción de vapor</b>	28 ton/h
<b>Componentes de la caldera</b>	Economizador fuera de servicio Vaporizador Sobrecalentador
<b>Combustible</b>	80% Astilla 20% Aserrín
<b>Humedad combustible</b>	50%
<b>Poder calorífico inferior bs</b>	4.000 kcal/kg
<b>Temperatura gases de escape</b>	240°C
<b>Temperatura de entrada a la turbina</b>	196°C
<b>Eficiencia de la turbina</b>	80%
<b>Rendimiento del generador</b>	98%
<b>Rendimiento térmico de la caldera</b>	60%
<b>Cogeneración</b>	Turbina de 300 kW fuera de servicio

Tabla 76 Características aserraderos Timberni (Timberni, 2018)

De la capacidad máxima, se emplean 20 ton/h para los procesos de secado de madera quedando 8 ton/h disponibles para otros fines. Por tal motivo y dado que la central térmica cuenta con una turbina de 0,3 MW de potencia se ha evaluado la posibilidad de emplear dicha turbina para la generación de electricidad. Para el análisis térmico de la planta se han asumido las condiciones presentadas en la Tabla 76, los resultados son presentados en la Tabla 77.

Resultados	Valores
<b>Potencia salida del generador</b>	0.3 MW
<b>Potencia salida turbina</b>	0.31 MW
<b>Potencia entrada turbina</b>	0.38 MW
<b>Potencia útil de la caldera</b>	329.082 kcal/h
<b>Flujo de vapor requerido</b>	555 kg/h
<b>Potencia entrada en la caldera</b>	548.469 kcal/h
<b>Flujo de combustible seco</b>	137 kg/h
<b>Flujo de combustible húmedo</b>	206 kg/h
<b>Flujo de combustible húmedo</b>	1.802 ton/año

Tabla 77 Análisis térmico planta Aserraderos Timberni (Timberni, 2018)

### 11.2.1 Evaluación Económica de Proyecto

Para la evaluación económica de la planta de cogeneración de Aserraderos Timberni, se ha usado la información presentada en la Tabla 76 y la Tabla 77. Actualmente, Aserraderos Timberni utiliza electricidad en los procesos de secado y aserrío, el consumo anual de las instalaciones de la empresa es de 3.579 MWh, los cuales se distribuyen a lo largo del año como se puede apreciar en la Figura 75.

Los costos anuales en electricidad asociados a las líneas de procesos son de \$328.762.885, con lo que se obtiene un costo aproximado de electricidad de \$92/kWh, este valor incluye costos adicionales por servicios y será utilizado como referencia para la evaluación económica del proyecto.

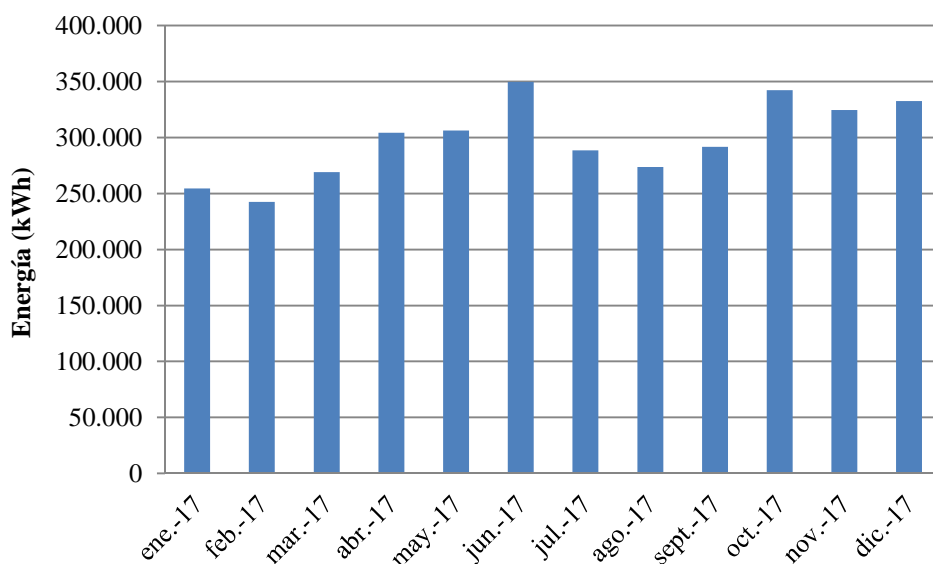


Figura 75 Energía eléctrica consumida por Aserraderos Timberni 2017 (Timberni, 2018)

Considerando que la capacidad de generación depende de la tasa de operación de la planta, comúnmente denominado factor de planta, para la evaluación se ha asumido un valor de 90%. Asumiendo que la planta opera en forma continua todo el año, la cantidad máxima de energía eléctrica que se puede generar son 2.365 MWh/año lo que permitiría considerarla para autoconsumo y necesitando cubrir solo un 34% de la demanda del aserradero que se suministraría desde el SEN.

Se ha considerado que la inversión inicial del proyecto está asociada a la puesta en marcha de la turbina generadora, una estimación inicial establece que esta inversión no tiene costo, por lo que solo se debieran considerar los costos operacionales de los equipos de generación de electricidad que están asociados al consumo de astillas y/o aserrín y a los costos de mantención. El factor de planta también afecta la cantidad de combustible a consumir. La Tabla 78 presenta la estimación de la cantidad de astillas consumidas al año para la evaluación económica y la Tabla 79 presenta la estimación del costo anual de astillas pero considerando valores de acuerdo a los resultados de los costos de abastecimiento presentados en la Figura 76 y a valores de proveedores de astillas de la región de Los Ríos.

Variables y Datos Técnicos	Dato
Tipo de Astillas - Especie	PR
Formato	G30
Poder Calorífico Superior Seco	19,5 MJ/kg
Poder Calorífico Superior Seco	5,4 kWh/kg
Porcentaje de Humedad	50%
Poder Calorífico Inferior Húmedo	2,37 kWh/kg
Rendimiento Térmico de la caldera	60%
Rendimiento Turbina	80%
Rendimiento Generador	98%
Energía Anual Consumida Caldera	5.028 MWh/año
Consumo de astillas al año	2.122 ton/año

Tabla 78 Estimación consumo de astillas

Costo Astillas (USD/ton)	45	63	70	120
Costo Astillas (\$/kg)	27	38	42	72
Costo Anual Astillas (\$/Año)	\$57.295.141	\$80.637.606	\$89.125.775	\$152.787.042
Costo Electricidad asociado al combustible (\$/kWh)	24	34	38	65

Tabla 79 Estimación costo anual de combustible

Los costos de mantención de la turbina generadora se estimaron como costos variables asumiendo un costo de USD 5/MWh y que considerando un factor de planta del 90% genera unos costos de mantención anuales de \$7.095.600. Para este proyecto no se ha considerado la contratación de personal adicional para el servicio de la planta. La evaluación se realiza construyendo un flujo de caja a 10 años. Considerando que la puesta en marcha de la turbina generadora no requiere inversión inicial no es posible obtener una TIR y determinar un PRI. Tabla 80 presenta los resultados de la evaluación económica donde se puede apreciar que el VAN es positivo para los precios de astillas considerados y para una valorización de la energía eléctrica de \$92/kWh.

Costo Astillas (USD/ton)	45	63	70	120
Costo Astillas (\$/kg)	27	38	42	72
VAN	\$729.772.135	\$577.634.792	\$522.312.122	\$107.392.095
TIR	n/e	n/e	n/e	n/e
PRI	n/e	n/e	n/e	n/e

Tabla 80 Evaluación económica H50% y factor de planta 90%





- Leyenda**
- Red Caminera**
- Ruta Principal
  - Caminos Ripio
  - Caminos Baja Mantención (Tierra)
  - Glaciares Nacional (Fuente MOP 2015)
  - Catastro de Lagos
  - Lineas Transmisión Eléctrica
  - Subestaciones Eléctricas
- Timberni CMG (USD/TS)**
- 35.2 - 49.1
  - 49.1 - 63.7
  - 63.7 - 78.0
  - 78.0 - 92.2
  - 92.2 - 106.5
- Industria Primaria Forestal**
- Aserradero Móvil
  - Aserradero Permanente
  - Astillador Integrado
  - Astillas
  - Cartulina CMPC
  - Central Astillado
  - Polines y Postes
  - Pulpa y papel
  - Tableros Chapas



**Proyecto:**  
"Generar un análisis espacial de los residuos de Biomasa Forestal en la Región de Los Ríos, y modelar la potencial oferta de suministro, localización y características de estos, principalmente de aquellos derivados de la Industria primaria y de residuos de Cosecha Forestales."

Cartografía y Bases de Datos elaboradas por el Laboratorio de Geomática del Instituto Bosque y Sociedad, Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales, Universidad Austral de Chile (UACh)  
Fuente: UACh - 2017.  
DATUM: WGS 84 - UTM H 18S

Figura 76 Costos de abastecimiento de biomasa por polígono por rangos en USD/TS

### **11.3 Prefactibilidad de Plantas Pellets/Briquetas en Comuna de Los Lagos**

El desarrollo de evaluación de prefactibilidad de una planta de pellets/briquetas en la ciudad de Los Lagos obedece a una de las respuestas de disponibilidad de biomasa residual en los alrededores de la ciudad presentados en el Informe 1 (IBOS-FCI, 2018) donde gracias a la modelación se pudo determinar que la disponibilidad permitiría el desarrollo de una planta de mediana capacidad teniendo como proveedores de materia prima a un número aproximado de 6 aserraderos fijos y de un número itinerante de 8 aserraderos móviles. Si bien los aserraderos móviles fueron descartados como una variable a ser considerada como resultado primario de este estudio, es importante considerarlos en este proyecto en particular porque representan una ganancia variable que permitirá tener un exceso de materia prima, que, por ejemplo, podría satisfacer condiciones de almacenamiento para secado de la materia prima.

El desarrollo de tecnologías asociadas a la pelletización y briquetado no ha mostrado significativos avances en los últimos años (KWB, 2018; Pellets San Gregorio, 2018; Segura, 2017), lo que sí ha mostrado avances es que el tamaño de las plantas ha aumentado para poder dar abasto a la demanda de pellets para abastecer plantas de cogeneración y calefacción distrital, sobre todo en el norte de Europa (KPA Unicon, 2016), sin embargo a nivel sudamericano, el desarrollo de estas plantas ha mostrado un aumento desde la perspectiva de poder satisfacer demandas de calefacción domiciliaria, sobre todo en regiones donde la contaminación medioambiental ha sido considerada significativa (Bahamondes Levio, 2015; Ministerio del Medio Ambiente, 2013; Rojas Valdivia, 2004).

La prefactibilidad de estas plantas ha sido evaluada en forma independiente debido a que la demanda por uno y otro biocombustible es muy disímil; el pellet actualmente está siendo altamente demandado para calefacción domiciliaria y en el caso de la briqueta, su demanda ha ido en detrimento debido a la alta demanda del pellet como reemplazo de esta.

#### **11.3.1 Prefactibilidad de Planta de Fabricación de Pellets**

La alternativa de una planta de fabricación de pellets ha sido, independiente del hecho de tener disponibilidad de biomasa residual, considerada porque en la región de Los Ríos solo existe una planta de producción (Collico, 2018) y todo el resto de pellet que se consume en la región proviene de otras regiones, mayoritariamente de la séptima y octava regiones. Si bien solo existe una planta en servicio, existe una planta de mediana escala fuera de servicio, específicamente Bio Patagonia Pellet (Bio Patagonia, 2018) quien el año 2016 dejó de producir por efecto de la capacidad de la planta, 1 ton/día y de la competencia, plantas de gran escala en otras regiones.

La alternativa de desarrollar una planta de pellets propiciaría un nuevo negocio para el público objetivo de este estudio, Pymes, y podría reactivar la fuera de servicio planta antes mencionada. Las consideraciones físicas más importantes para poder considerar una planta pelletizadora son:

- ) Localización de empresas forestales generadoras de biomasa residual.
- ) Distancia entre dichas empresas forestales.
- ) Mapa de calor de disponibilidad de biomasa residual en alrededores de empresas forestales, cómo se puede apreciar en la Figura 77.
- ) Red de transporte desde puntos de disponibilidad de biomasa residual a empresas forestales y a puntos de posible emplazamiento de planta.
- ) Porcentaje de humedad de la biomasa residual.

El mapa de calor presentado en la Figura 77, entrega que, para una planta de pellets en la comuna de Los Lagos, la disponibilidad dentro del rango máximo de distancia que el costo de transporte permite para poder viabilizar una posible planta aseguraría un suministro constante de biomasa residual para satisfacer las necesidades de esta. El capítulo de Costos de Suministro de Biomasa Disponible, Aprovechable y Redes, demuestra que el rango máximo de disponibilidad de biomasa residual considera un diámetro de 200 km a la redonda de la planta de pellets. Dentro de este rango, como se puede apreciar en la Figura 77, se encuentran puntos con disponibilidad de biomasa residual de entre 2.300 TS/año y 6.300 TS/año. Estas disponibilidades aseguran la capacidad de la planta durante todo el año y para diferentes configuraciones de servicio, que para este análisis ha sido considerado de doble turno de ocho horas cada uno. Con este régimen de servicio, la producción de la planta sería de 32 ton/día.

Como se mencionó anteriormente, esta planta considera también la producción de briquetas por lo que las mismas condiciones de disponibilidad de biomasa residual y de operación de la planta de pellets son usadas para el desarrollo de la planta de briquetas.



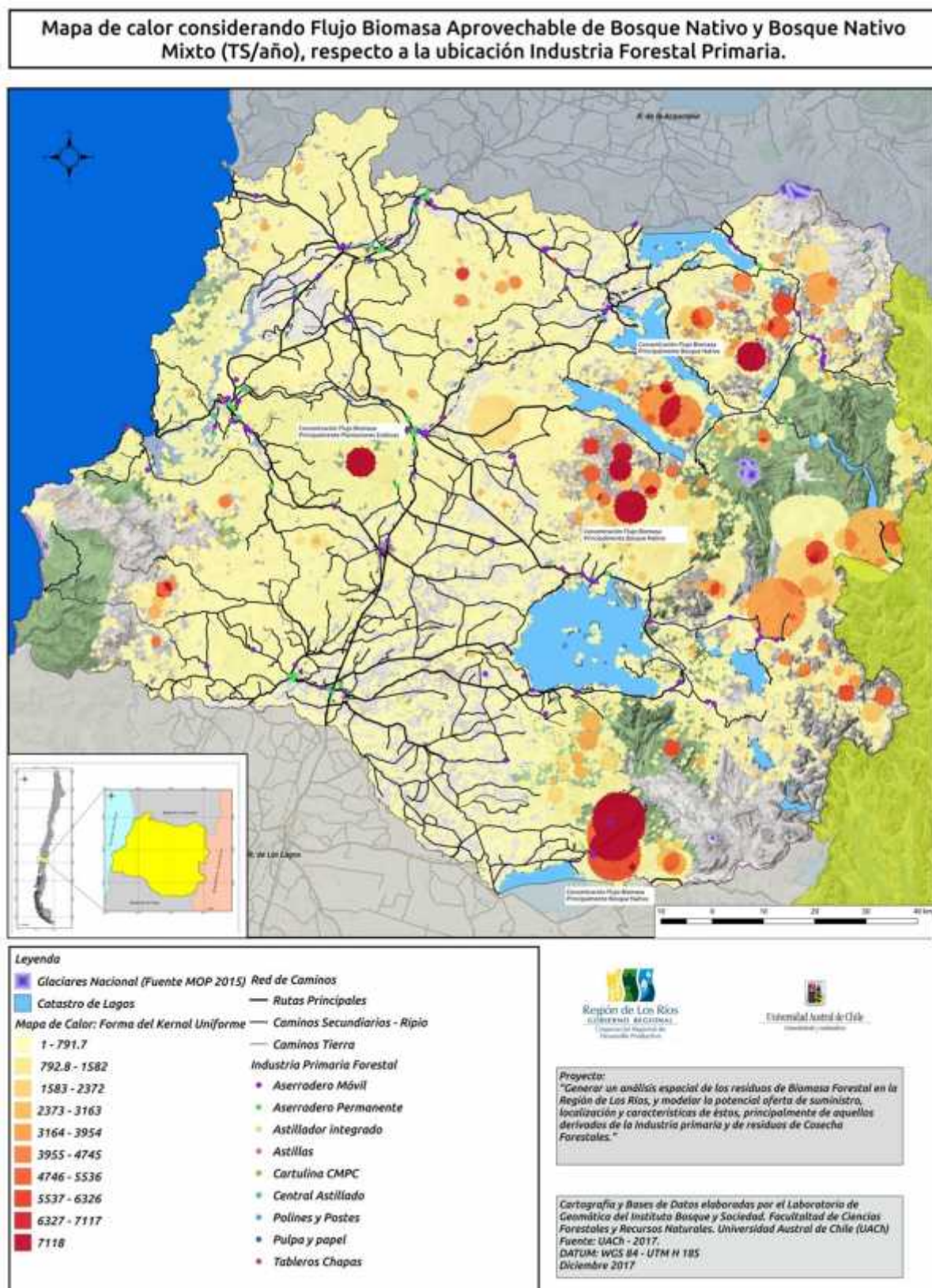


Figura 77 Mapa de calor de disponibilidad de biomasa región de Los Ríos (IBOS-FCI, 2018)

El pellet es un biocombustible sólido comprimido a partir de un proceso de densificación y molienda de biomasa. Es un formato de biocombustible sólido que permite un control del contenido de humedad y se puede fabricar usando distintos tipos de residuos tales como; residuos forestales donde la troza, el aserrín, la viruta y la corteza son los más usados, residuos de cosecha agrícola, residuos de silvicultura y residuos urbanos como el papel y el cartón. La pelletización, es un proceso que requiere una maquinaria cuyas capacidades y tamaño dependerá de la evaluación de la demanda y de la biomasa disponible.

El proceso de producción de pellet considera que la materia prima entra en la pelletizadora donde es acondicionada mediante el uso de vapor, el que contribuye a su humectación superficial, actuando como lubricante en el proceso. Además, la adición de vapor contribuye a que el aglutinante natural de las fibras de la madera, la lignina, actúe con mayor facilidad sobre las fibras que componen el pellet. Posteriormente, la materia prima es sometida a una presión mecánica constante por medio de la utilización de rodillos que se encuentran dispuestos dentro de la matriz o troquel, el cual cuenta con una serie de perforaciones en su superficie, por las que debe salir el material que está siendo empujado. Por medio de este proceso es que el material finalmente se aglutina. La matriz o troquel regularmente tiene perforaciones de 6 mm a 12 mm, por donde el material sale. Una vez fuera es cortado por medio de cuchillas ajustables, dando a los pellets su forma y largo según se requiera.

Respecto a la composición del pellet, si la biomasa forestal contiene corteza, el poder calorífico de esta aumenta afectando en forma incremental la producción de cenizas, debido principalmente a las impurezas que la corteza pudiese contener (Alkangas and Paju, 2002). La producción de una tonelada de pellets, con un contenido de humedad de entre 7% y 10% requiere unas concentraciones de alrededor de 7 m<sup>3</sup> a granel de aserrín, cuyo contenido de humedad debe estar entre un 50% y un 55% y alrededor de 10 m<sup>3</sup> a granel de virutas o cortes desecho, cuyo contenido de humedad debe estar entre un 10% y un 15% (Kytö and Äijälä, 1981). La humedad es muy importante en la región de Los Ríos sobre todo en invierno donde las condiciones ambientales dificultan el proceso de secado natural de la materia prima, por lo que se debe considerar un proceso de secado, dicho proceso junto a un equipo que permita el secado de la biomasa a las condiciones necesarias para su proceso. Un secador es un equipo de alto consumo energético por lo que es un valor agregado que se debe sumar al producto final.

#### **11.3.1.1 Plantas de Pellets**

Una línea de producción de pellet requiere de máquinas que realicen los distintos procesos de necesarios para su fabricación, los cuales se pueden diferenciar por el tipo de materia prima utilizada y

la capacidad de producción. La Figura 78 muestra el proceso de pelletizado y los equipos comúnmente asociados.

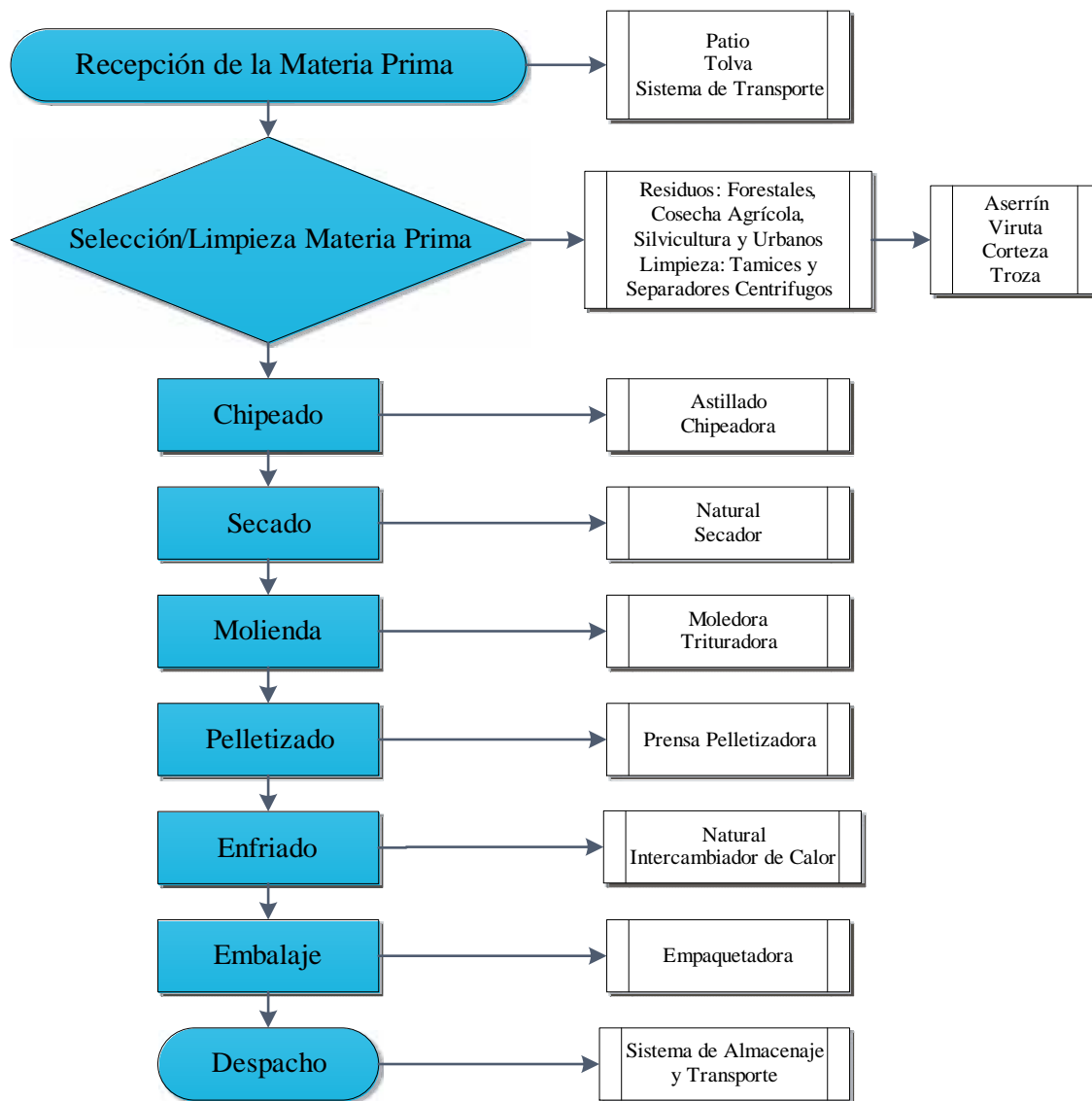


Figura 78 Procesos planta pelletizadora

De acuerdo con la capacidad de producción las plantas pelletizadoras, se pueden clasificar en planta a escala pequeña, mediana y grande, la Tabla 81 presenta las capacidades para diferenciar el tamaño de la planta junto con el tipo.

Escala de Clasificación	Capacidad (ton/h)	Tipo
<b>Grande</b>	$4 < \text{Capacidad}$	Estacionaria
<b>Mediana</b>	$0,6 < \text{Capacidad} \leq 4$	Transportable
<b>Pequeña</b>	$\text{Capacidad} \leq 0,6$	Transportable en un remolque

Tabla 81 Clasificación de plantas peletizadoras de acuerdo con capacidad

### 11.3.1.2 Planta de Pequeña Escala

Estas plantas se caracterizan por ser una unidad de producción que se puede transportar y montar de forma fácil, se puede denominar línea móvil de producción de pellets, posee todo el equipamiento necesario, caracterizándose por utilizar un sistema de enfriamiento de pellet del tipo intercambiador de calor por agua y una prensa rotatoria plana. Está montado sobre un marco rígido, que permite su transporte, se alimenta de energía eléctrica y puede llegar a ocupar un volumen aproximado de hasta de 7 m<sup>3</sup>. Las Figura 79 y Figura 80 presentan dos ejemplos de plantas de producción de pellet de pequeña escala. La primera con una capacidad entre 250 kg/h y 450 kg/h y la segunda con una capacidad entre 400 kg/h y 500 kg/h.



Figura 79 Planta de producción de pellet móvil (GEMCO ENERGY, 2017)





Figura 80 Planta de producción de pellet de madera móvil (WHIRLSTON, 2017)

#### 11.3.1.3 Planta de Media Escala

En este tipo de plantas se incorporan otras tecnologías, principalmente en los equipos de secado y pelletización y/o prensado de pellets. Utilizándose secadores de tambor rotatorio y una prensa de pellet rotatoria circular. Las dimensiones de la planta dependen de su capacidad de producción y está fuertemente determinada, por las dimensiones del secador y enfriador. Figura 81 presenta un esquema lineal de producción de pellet cuyas capacidades fluctúan entre 1 ton/h y 4 ton/h (WHIRLSTON, 2017).

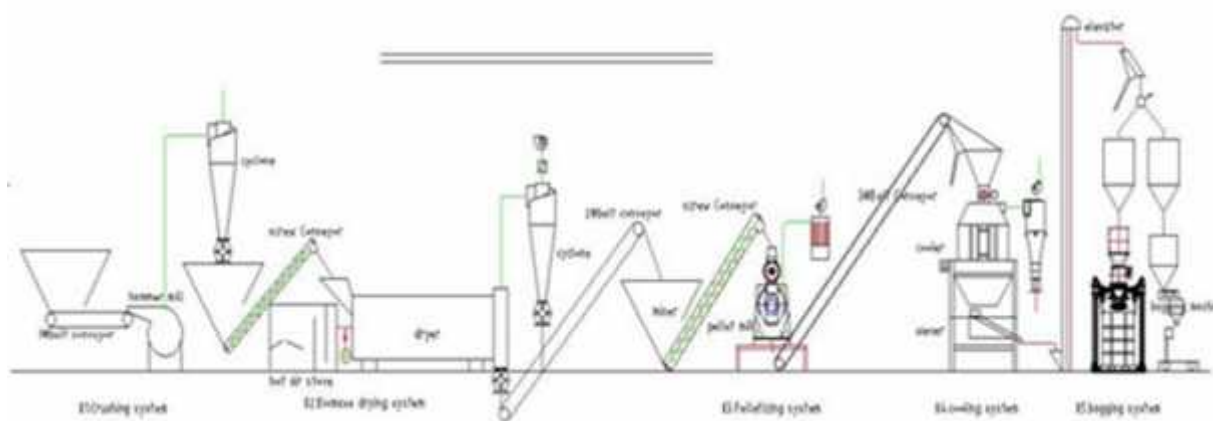


Figura 81 Planta peletizadora de mediana escala (WHIRLSTON, 2017)

#### 11.3.1.4 Planta de Gran Escala

La tecnología utilizada por los diferentes equipos es similar a la de una planta de media escala, sin embargo, la mayor capacidad de fabricación de pellet determina mayores dimensiones para los equipos. Este tipo de plantas se desarrolla para cada requerimiento de cliente. Los procesos y equipamiento son presentados y enumerados de acuerdo con la Figura 82, donde se enumeran en



orden los procesos de recepción de la materia prima, pretratamiento de la materia prima, proceso de secado, almacenamiento, molienda, granulación, enfriamiento y tamizado del pellet para terminar con el almacenamiento previo al despacho.

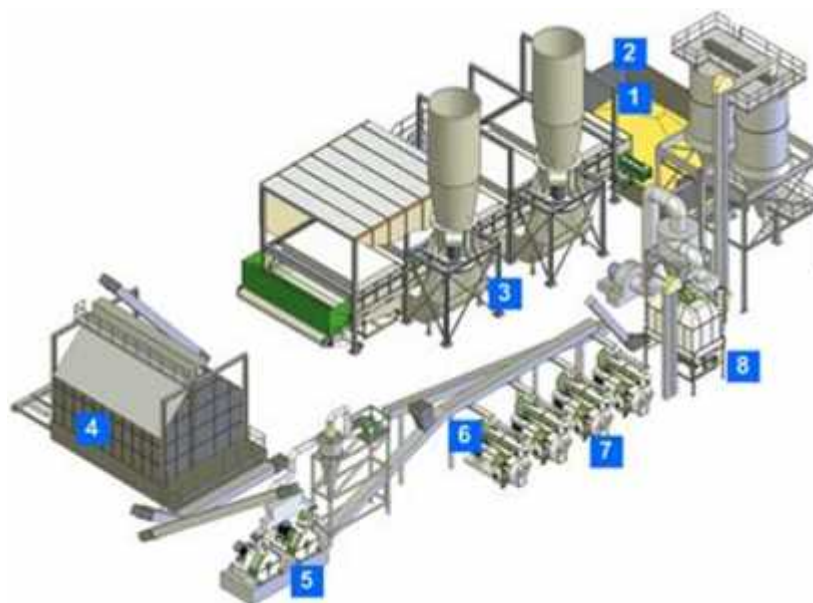


Figura 82 Planta pelletizadora de gran escala (Pellets San Gregorio, 2018)

A continuación, se presenta en Tabla 82 una descripción técnica de los modelos de pelletizadoras de la empresa Whirlston (WHIRLSTON, 2017) donde se puede apreciar el incremento de capacidades de acuerdo con las potencias, número de rodillos de prensado y las capacidades de producción.

Modelo	MZLH400	MZLH420	MZLH508	MZLH558
<b>Capacidad</b>	0.5 ton/h 0.8 ton/h	1.0 ton/h	1.5 ton/h 2.0 ton/h	2.0 ton/h
<b>Potencia</b>	70 kW 90 kW	90 kW	110 kW	132 kW
<b>Potencia de Alimentador</b>	0.75 kW	0.75 kW	0.75 kW	2.2 kW
<b>Tamaño de Pellet</b>	6 8 10	6 8 10 12	6 8 10 12	6 8 10 12
<b>Nº de Rodillo Prensado</b>	2	2	2	2
<b>Diámetro Exterior Rodillo Prensado</b>	190 mm	206 mm	222 mm	222 mm
<b>Dimensiones</b>	2302 mm 970 mm 2105 mm	3150 mm 1100 mm 1650 mm	3200 mm 1300 mm 1850 mm	3200 mm 1300 mm 1850 mm
<b>Peso</b>	2.8 ton	3.1 ton	3.5 ton	3.5 ton

Tabla 82 Detalles técnicos de plantas pelletizadoras “Ring Die Wood” (WHIRLSTON, 2017)

### 11.3.2 Prefactibilidad de Planta de Fabricación de Briquetas

La briqueta es también un biocombustible sólido comprimido, cuyo proceso de producción es muy similar al proceso de producción del pellet. Para la producción de briqueta, se aplica una presión que aumenta la temperatura del material vegetal hasta alcanzar una temperatura entre 100°C a 150°C con lo que se logra plastificar la lignina, permitiendo la formación de las briquetas. Las dimensiones del producto son mayores a las del pellet, con longitudes entre 15 cm y 50 cm y diámetros de entre los 3 cm y los 20 cm (Amigo Borgeau, 2011).

El proceso productivo de briquetas es similar al de la producción de pellets y la única diferencia es el componente mecánico de rodillos de prensado que se encuentran dispuestos dentro de la matriz o troquel, la Figura 83 muestra este equipo y la forma de la briqueta resultante del proceso. A parte del aumento de las presiones y temperaturas para el proceso productivo de la briqueta, dimensiones del biocombustible sólido resultante y de las de las diferencias mecánicas del proceso de prensado las plantas de briquetado poseen los mismos equipos constituyentes que una planta de pellets (FOREMAK, 2017) por lo que en esta sección solo se procederá a la descripción del estudio de mercado y de viabilidad de la instalación de una planta de briquetas.

En la región de Los Ríos existe dos plantas briquetadoras: la primera, cuya producción abastece al mercado mayorista nacional (Puertas Wood's, 2018) y la segunda, una pequeña planta que abastece el mercado local de la comuna de Valdivia (Leñería, 2018). Antecedentes respecto a las capacidades de las plantas no fue posible de obtener.

La briqueta entra en el estudio porque ha sido identificada como una opción de recambio en el uso de la leña como biocombustible residencial, ya que puede ser usada en artefactos de calefacción convencionales que no necesitan ningún reacondicionamiento como sucede con los calefactores que consumen pellets. La briqueta siendo más densa propicia una combustión más lenta sin humo y formando menor cantidad de cenizas (Amigo Borgeau, 2011; Pottinger, 2017). Cuando se le compara con leña seca y de densidades altas, la briqueta pierde terreno ya que su eficiencia es menor y pierde atractivo cuando se compara el costo, el cual es afectado por el alto costo inicial que una planta de briquetado demanda. Otra de las grandes desventajas es la necesidad de almacenarla en espacio libre de humedad.

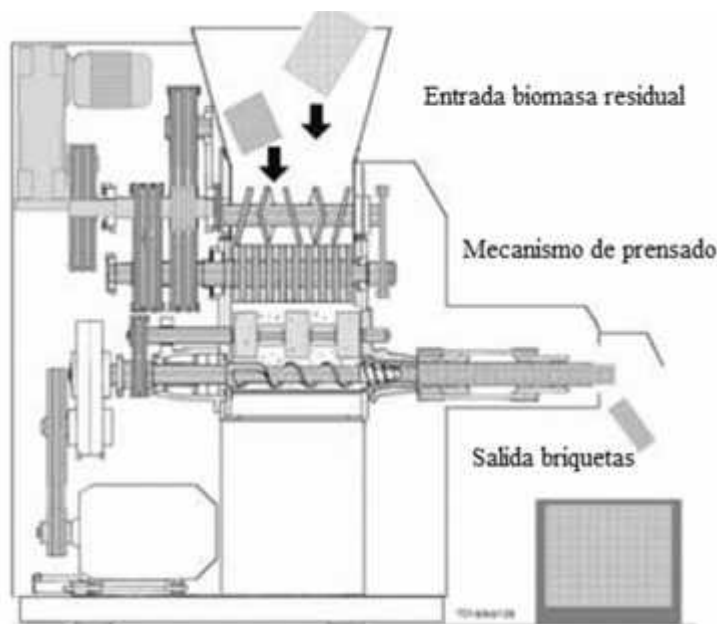


Figura 83 Proceso de briquetado (Pottinger, 2017)

#### 11.4 Proyecto Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico

Aserraderos Collico Limitada es una empresa productora y comercializadora de maderas de *PR*, ubicada en la región de Los Ríos, comuna de San José de la Mariquina. Sus esfuerzos están orientados a dar valor a la madera, y así potenciar su uso como material noble que permite ser usada en todas las etapas de la construcción. Empresa destacada en calidad y oportunidad de entrega de productos, con la mejor relación precio/calidad. Sus productos provienen de bosques certificados, lo que permite asegurar a sus clientes que sus compras de productos forestales no contribuyen a la destrucción y degradación de los bosques (Collico, 2018).

De acuerdo con antecedentes proporcionados por la empresa, en el año 2015 se adquiere una planta de pellets con capacidad de producción 250 kg/h y después de varios meses de puesta a punto, se logra producir pellets de calidad aceptable para el mercado local. La máquina contaba con molino, silo, ciclón, prensa y harnero. La materia prima, que corresponde a virutas, aserrín y polvos secos, se obtenía de la planta de manufacturas de molduras en *PR* con madera seca en cámara. En 2017 al aumentar la demanda se adquiere una planta para fabricar pellets para calefacción premium con capacidad de 2 ton/h.

Esta planta cuenta básicamente con dos prensas; una marca MUNCH de capacidad 1.5 ton/h y otra Van Aarsen de capacidad 0.8 ton/h. El resto de los equipos de la planta incluye; molino de martillos,

silo acumulador, enfriador de pellets de 2.5 ton/h de capacidad, cintas transportadoras y envasadora. Actualmente se produce pellets de alta calidad en formato bolsas de 18 kg por pallets de 50 bolsas.

La producción actual es de 5.000 kg/día, por lo tanto, la planta funciona menos de 3 h diarias por falta de materia prima apta para la producción de pellets que es básicamente, virutas o aserrín secos con humedad no superior al 12%.

La biomasa que el aserradero genera no se puede utilizar en el proceso de pelletizado por su alto contenido de humedad. Por otro lado, en la zona existen numerosos aserraderos pequeños que producen una cantidad interesante de aserrín, pero también con un alto contenido de humedad. Por lo tanto, si se contara con un secador de biomasa se podría operar la planta de pelletizado a capacidad plena lo que significaría unas 350 ton/mes a 1 turno diario. Debido a la alta y creciente demanda de pellets para calefacción en la región de Los Ríos se torna muy interesante y necesaria la adquisición de una unidad de secado de biomasa con capacidad aproximada de 2 ton/h.

#### **11.4.1 Proceso de Secado de Partículas de Biomasa en Lecho Fluidizado**

Este proceso se basa en el principio de extracción de la humedad de partículas sólidas mediante la suspensión de ellas a través de una corriente de gas caliente en sentido ascendente. El gas que fluidiza a los sólidos además transporta la energía calórica que es necesaria para producir la evaporación del agua contenido en los sólidos.

El secado de partículas de biomasa forestal tiene hoy en día una gran importancia por el uso que se le da a esta materia prima en la fabricación de tableros de partículas, pellets, briquetas, como también para procesos de combustión y gasificación de biomasa. Debido a los elevados consumos de energía que se requieren durante el proceso de secado de productos, una importante variable a optimizar es la eficiencia térmica, la cual, está estrechamente relacionada con el consumo específico de energía calórica del proceso.

En la actualidad el empleo de unidades de lecho fluidizado para el secado de partículas se ha visto incrementado debido a las múltiples ventajas que esta tecnología ofrece, sin embargo, la biomasa forestal presenta el problema de alta aglomeración de los sólidos especialmente cuando ellos están con un alto contenido de humedad. Por tal motivo, se han estudiado diversas alternativas para mejorar el proceso de fluidización, demostrándose que para partículas de tamaño entre 1 mm y 4 mm el mejor sistema es un lecho fluidizado con agitación mecánica (Moreno, Antolín et al., 2017). Los resultados muestran que el proceso de secado se logra con un consumo específico de 2.800 kJ/kg de agua evaporada y un rendimiento térmico de 85%. A este valor debe adicionársele el consumo energético

correspondiente al período inicial, desde que la biomasa es cargada en el secador hasta que las partículas adquieren la temperatura de bulbo húmedo correspondiente al período de tasa de secado constante. En este período, las partículas y el agua contenida en ellas sólo aumentan su temperatura, sin haber evaporación, o al menos ella es de un valor muy bajo, ya que se trata de un período de preparación del material para el secado. Al efectuar el cálculo de este consumo adicional de energía, el rendimiento térmico del secador desciende a un 80%, lo cual, equivale a un consumo específico de energía de 3.040 kJ/kg de agua evaporada (Moreno, Antolín et al., 2017).

Los mejores secadores rotatorios pueden tener un consumo de energía de 2.940 kJ/kg de agua evaporada. Algunos investigadores postulan que los mejores secadores tienen un consumo específico de energía de 3.350 kJ/kg a 4.200 kJ/kg (Moreno, Antolín et al., 2017). En base a los antecedentes entregados por Aserraderos Collico Limitada se puede dimensionar las características de una planta de secado de partículas de biomasa y gracias a las características técnicas de un proceso de secado de biomasa se ha desarrollado la factibilidad de implementar una unidad de secado de lecho fluidizado para el aumento de la producción de pellets. A continuación, se entregan los resultados obtenidos al evaluar la opción de secar aserrín en una unidad de lecho fluidizado. La Tabla 83 presenta las condiciones de diseño de la planta de secado de biomasa residual.

Variable	Condición de diseño
<b>Tipo de secador</b>	Lecho fluidizado
<b>Presión de trabajo</b>	1.11 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Temperatura de operación</b>	413K
<b>Área de fluidización</b>	6.7 m <sup>2</sup>
<b>Capacidad de secado producto húmedo</b>	2 ton/h
<b>Capacidad de producción producto seco</b>	0.8 ton/h
<b>Componentes del secador</b>	Soplador – Calefactor - Cámara de Secado con Distribuidor de Aire - Ciclón Recolector de Finos.
<b>Material particulado</b>	Aserrín
<b>Humedad inicial combustible</b>	150%
<b>Humedad final combustible</b>	12%

Tabla 83 Condiciones de diseño de planta de secado de biomasa

Considerando el uso de biomasa con un 50% de humedad para la generación de energía térmica para el proceso de secado, los resultados obtenidos son los presentados en la Tabla 84.

Resultados	
Tiempo de secado	14 min
Consumo de energía	861 kJ/s
Eficiencia térmica proceso de secado	85%
Tasa de evaporación	1.104 kg/h
Tasa de producción	800 kg/h
Consumo de combustible seco	231 kg/h
Consumo de combustible húmedo	347 kg/h
Consumo anual de combustible húmedo 50% CH	666 ton/año

Tabla 84 Resultados operacionales de la planta de secado

De acuerdo con estos resultados, la inversión requerida para el equipamiento del proceso de secado en una unidad de lecho fluidizado, considerando fabricación nacional, se estima en USD 86.338 y se desglosa como se puede apreciar en la Tabla 85.

Ítem	Costos (USD)
Ductos de transporte y cámara de secado	18.627
Estructuras metálicas del secador	12.732
Ciclón recolector de sólidos secos	2.481
Ciclón recolector de sólidos finos	2.481
Tornillo sin fin alimentador	1.630
Serpentín calefactor	21.685
Compuertas	825
Sub Total	60.461
Gastos Generales y Utilidades	12.092
Total, neto	72.553
IVA	13.785
Total, bruto	86.338

Tabla 85 Costos de inversión para secador de lecho fluidizado

## 11.5 Análisis Disponibilidad Biomasa Planta Cogeneración Arauco

Esta sección ha sido desarrollada para mostrar la realidad de la gran industria maderera de la región de Los Ríos. La planta de celulosa Arauco está ubicada a 60 km de Valdivia, específicamente en San José de La Mariquina. Es una empresa que produce y gestiona recursos forestales (Arauco, 2018a), y que, a través de sus procesos industriales, como se puede apreciar en la Figura 84, tiene la capacidad de generar energía eléctrica para su autoconsumo y también para su inyección al SEN. Esta empresa se autoabastece de materia prima para la generación de electricidad gracias a sus procesos industriales de producción de celulosa.

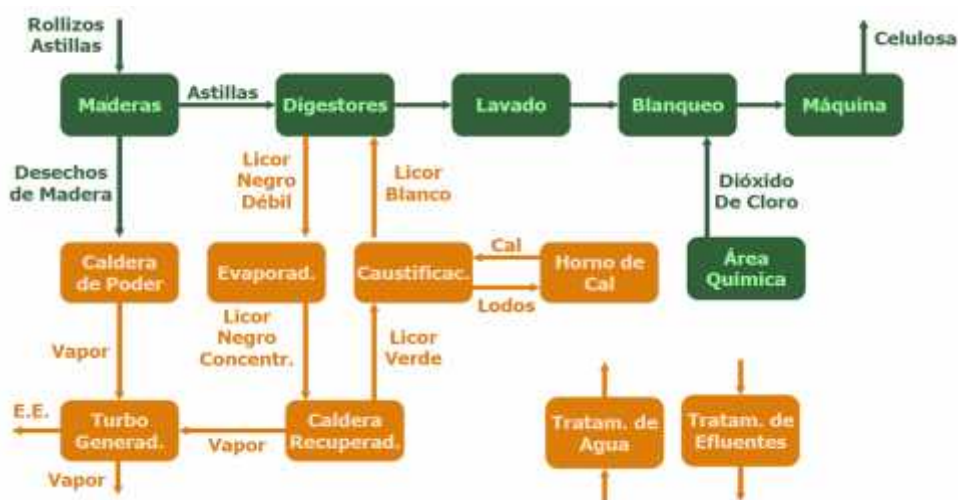


Figura 84 Proceso productivo y de generación planta Arauco Valdivia (Arauco, 2018b)

La planta en sus diferentes procesos genera biocombustibles que son usados ya sea por una planta de recuperación de calor, que básicamente es una caldera recuperadora, así como también gracias a una caldera de poder, el vapor generado por ambas es usado por una planta turbogeneradora independiente. Ambas plantas se pueden combinar para producir 140 MW, que como se mencionó previamente cubre el autoconsumo de la planta y además entrega en exceso 50 MW de potencia eléctrica al SEN.

La planta de recuperación de calor consume licor negro, que es un subproducto del proceso celulósico de la planta en general, produciendo aproximadamente 450 ton/h de vapor a una presión de 85 kg/cm<sup>2</sup> y a temperaturas hasta los 485°C. La caldera de poder consume biomasa residual y está asociada a la utilización de los propios residuos de la planta, pero también se abastece de proveedores externos. La planta de poder consume 1.300 ton/día de biomasa residual donde un 80% es autoabastecimiento y el restante 20% es de proveedores externos. Con esta capacidad produce 120 ton/h de vapor que alimentan las unidades turbogeneradoras; una unidad es una turbina de condensación para generación de potencia eléctrica y la otra unidad es una turbina de contrapresión para procesos de la planta. Las características de la biomasa residual que se puede usar consideran un porcentaje de humedad no mayor al 60%, la planta posee un sistema de secado de biomasa, pero por las características de las calderas no se recomienda que la humedad de ésta sea más baja que un 50%.

Desde el punto de vista medioambiental, la planta está certificada bajo los más rigurosos estándares internacionales, lo que asegura la sustentabilidad de los procesos productivos y de generación eléctrica que benefician no sólo a la empresa, sino que a la región de Los Ríos. Procesos de reducción de emisiones y tratamiento de aguas son controlados a lo largo de toda la cadena productiva y de



generación permitiendo a la planta ser comparada positivamente con plantas internacionales mostrando estándares de control de descarga de efluentes por sobre la media. La planta lleva a cabo un programa de monitoreo ambiental y trimestralmente se entregan estos resultados generándose un feedback para optimización de procesos de control de emisiones y descarga de efluentes (Arauco, 2018b; Celulosa Arauco y Constitución S.A., 1997).

Desde el punto de vista de análisis de esta planta de cogeneración y el interés principal para este estudio es entender la disponibilidad de biomasa residual de la planta. Como se mencionó la planta se autoabastece, pero requiere de proveedores externos de todas formas para poder dar abasto a las necesidades de generación. La logística del transporte indicada por la planta presenta que el abastecimiento de externos es viable en un radio de 62 km y a una distancia caminera de 72 km con una distancia máxima de 220 km de la planta. Cuando se compara esta información con los resultados de disponibilidad de biomasa de este estudio, se puede inferir que la disponibilidad para cubrir la demanda del 20%, que equivale a 260 ton/día, se podría cubrir. La Figura 85 muestra que, considerando las distancias especificadas por la empresa Arauco, existen concentraciones de hasta unas 7.000 TS/año de biomasa residual disponibles para sustentar la demanda de la planta si lo requiriese.

El presente análisis de la planta respecto a sus capacidades y a los resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto demuestran la sinergia que debiera existir entre la gran industria forestal que representa Arauco y las Pymes de la región de Los Ríos. Disponibilidad de biomasa residual existe en la región y sólo se necesita de un compromiso mutuo entre las partes para poder abastecerla cuando esta sea requerida.

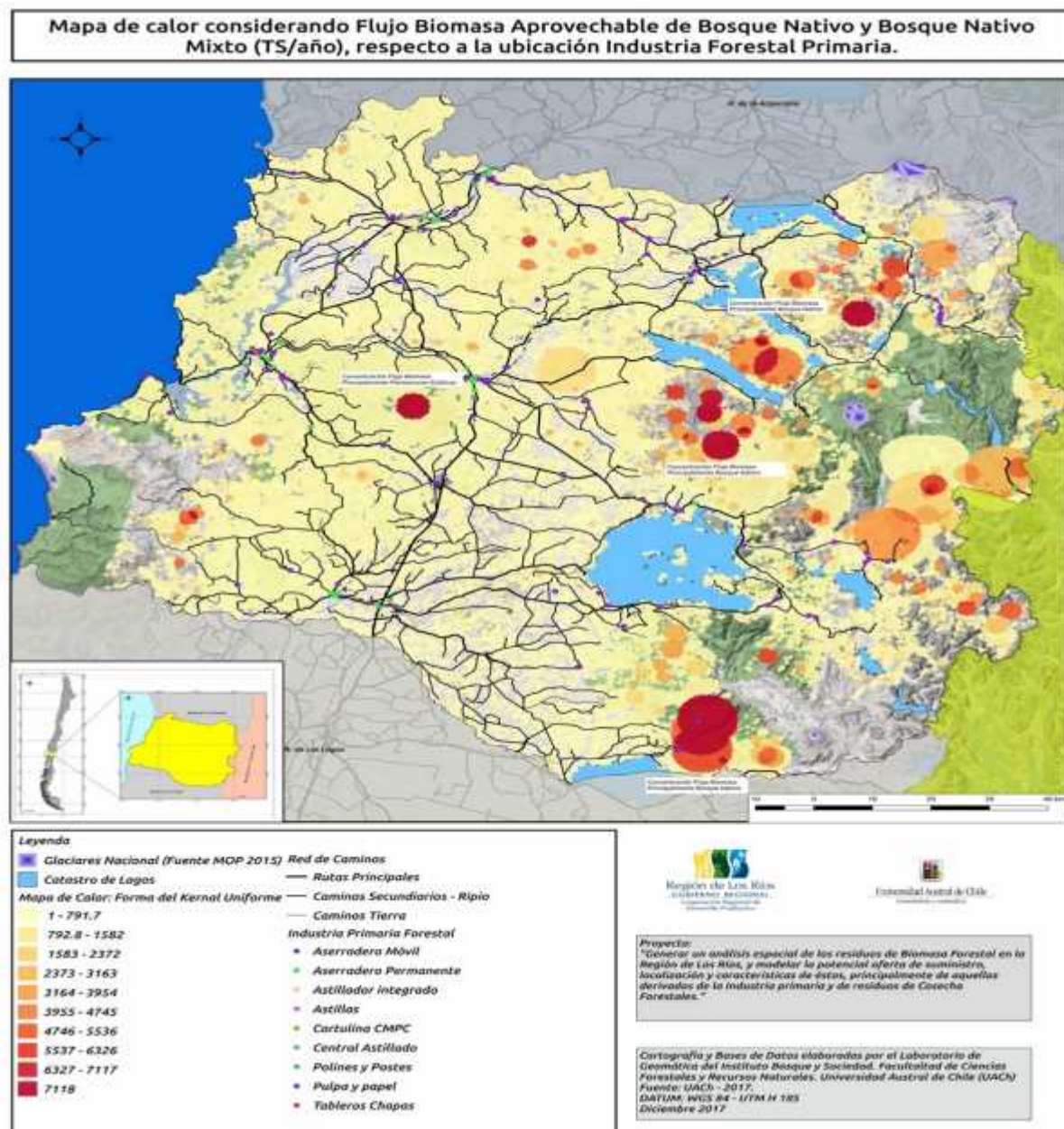


Figura 85 Mapa de calor de disponibilidad de biomasa para planta Arauco Valdivia

## 11.6 Análisis Disponibilidad Biomasa Planta Colun

Esta sección ha sido desarrollada para mostrar un uso diferente que se le ha dado a la biomasa residual. Colun es una Cooperativa Agrícola y Lechera ubicada en la comuna de La Unión en la región de Los Ríos a casi 60 km de la ciudad de Valdivia (Colun, 2018). Esta cooperativa necesita vapor para sus procesos industriales y para obtenerlo ha optado por comprar este vapor sin tener que incluir en sus procesos productivos la generación de éste. Este modelo de compra de energía es conocido como

modelo Energy Service Company, ESCO, que permite una relación comercial ofrecido por una empresa de servicios energéticos, en este caso la empresa Energías Industriales para proveer bajo condiciones contractuales la energía por un determinado tiempo. La energía se obtiene a partir de biomasa residual que es una de las premisas de este tipo de modelo de negocios. Energías Industriales provee de 20 ton/h de vapor generados en una caldera que consume biomasa residual a la planta Colun (Energías Industriales, 2018), el contrato de suministro se ha fijado en 10 años renovable de acuerdo con especificaciones comerciales entre las partes.

Este caso es particular porque la empresa proveedora de la energía posee un modelo de captación de biomasa residual que es básicamente colección de ésta desde los Pymemad de las zonas cercanas a la planta bajo un radio de aproximadamente 60 km. La empresa compra bajo condiciones contractuales de pago mínimo por la biomasa residual y/o, como en algunos casos, se compromete a colectarla de los Pymes que no hacen uso o que prefieren regalar la biomasa según disponibilidad. Mayores detalles de los procesos de gestión, para en algunos casos comprar y/o recibir la biomasa, se desconocen. El gran desarrollo de este modelo es que cuando se analiza el mapa de calor, que se presenta en la Figura 86, se pueden apreciar 8 aserraderos fijos y 4 aserraderos móviles en la zona dentro del rango de acción de la empresa proveedora de energía. Esta disponibilidad de aserraderos más la disponibilidad de biomasa que la zona cercana a la planta posee y que es de hasta 5.500 TS/año permiten asegurar la prestación de los servicios de la empresa proveedora de energía.

El presente análisis de la planta y de la empresa proveedora de energía respecto a sus capacidades y a los resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto demuestran la sinergia que puede y que existe entre cualquier industria que requiera energía que en este caso representa Colun y las Pymes de la región de Los Ríos. Disponibilidad de biomasa residual existe en la región y este modelo de negocios prueba y corrobora un proceso de obtención y uso de biomasa residual alternativo y necesario para el desarrollo regional.



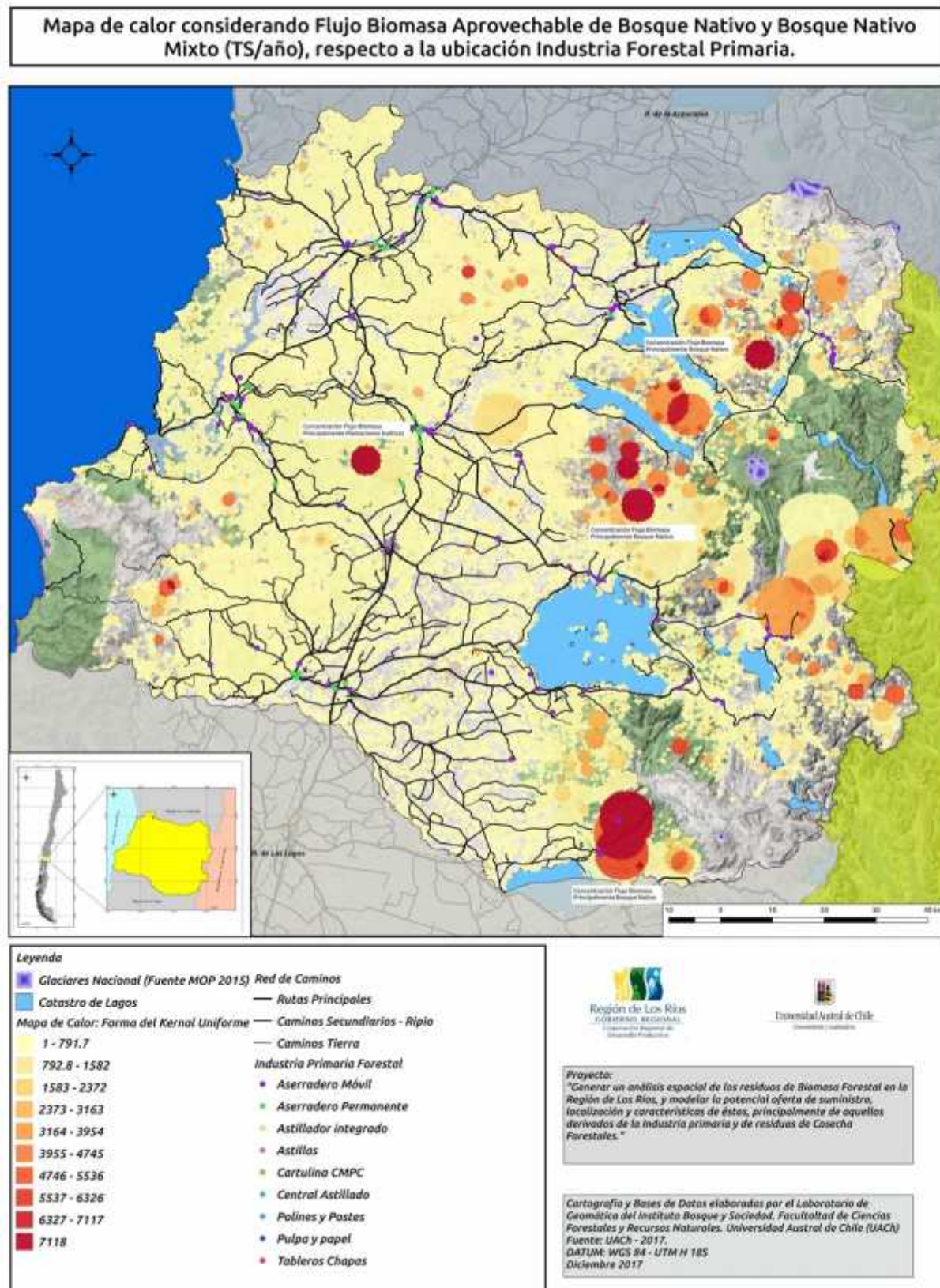


Figura 86 Mapa de calor de disponibilidad de biomasa para planta Colun

## 12. Optimización de la Ingeniería Básica de Proyecto Seleccionado “Campus Miraflores”

En este capítulo se presentan los antecedentes relativos a la optimización de la ingeniería básica del proyecto de calefacción distrital para el Campus Miraflores de la UACH. La etapa anterior, que se ha desarrollado en el Capítulo 11, corresponde a una ingeniería más bien conceptual, la cual es indispensable para identificar la viabilidad técnica y económica del proyecto.

Los elementos esenciales que componen la optimización de la ingeniería básica de este capítulo son:

- )] Especificaciones técnicas, EETT, que permiten al mandante proceder a un proceso de licitación, pública o privada, con el fin de llevar a cabo un proyecto de ingeniería. En este documento se describen las condiciones que debe cumplir la empresa que se adjudique la licitación.
- )] Planos de instalación que dan cuenta de los elementos esenciales de un proyecto de ingeniería. Anexo 8 – Planos Proyecto Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH presenta el plano de la central térmica de biomasa y la distribución de energía a través de una red bitubular a todos los edificios contemplados en el proyecto.

La nueva evaluación económica corresponde a un mayor acercamiento de los costos de inversión inicial presentados previamente y que se han logrado optimizar para este capítulo.

### 12.1 Especificaciones Técnicas - Generalidades

#### 12.1.1 Descripción del Proyecto

Este documento contiene las especificaciones técnicas para la instalación del sistema de calefacción distrital, destinado a una parte del complejo de edificios que conforman la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la UACH, en la ciudad de Valdivia. El complejo de edificios que se consideran en el sistema está compuesto por:

- )] El edificio Joaquín Castellano de la Torre, Edificio 6000, que alberga al Instituto de Electricidad y Electrónica y el Centro de Docencia de Ciencias Básicas para Ingeniería.

- ) El edificio Eduardo González Villa, Edificio 8000.
- ) El Pabellón Docente Carlos Hunt Sharpe, Edificio 9000.
- ) El Edificio 10000 que alberga al Instituto de Informática.
- ) La biblioteca de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Edificio 12000.
- ) El Edificio 13000 que alberga al Instituto de Industrial y Sistemas.
- ) El futuro edificio que albergará al Instituto de Acústica.

Las especificaciones se complementan con plano de la instalación que, como se mencionó previamente, se presenta en Anexo 8 – Planos Proyecto Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH (Moreno, 2018b).

El proyecto consiste en un sistema de calefacción central para oficinas, salas específicas y pasillos, por medio de radiadores, alimentados con agua caliente por dos calderas a astillas de madera. Las calderas alimentarán dos estanques de inercia y luego mediante bombas de agua, se alimentarán las matrices centrales de calefacción de los edificios antes mencionados, con manifolds surtidor y retorno para la distribución. A fin de mantener el control de la temperatura ambiental sectorizada se contempla válvulas con cabezal termostático en cada radiador.

### **12.1.2 Condiciones para el Proponente**

#### **12.1.2.1 Calidad del Trabajo**

El contratista térmico, en adelante el “instalador”, es el único responsable de toda la obra y por lo tanto deberá cautelar que los trabajos sean efectuados por personal calificado y de experiencia para completar los detalles menores que no se mencionan en las presentes especificaciones, tales como anclajes, sellos, trabajos de soldaduras, montaje de amortiguadores, tuberías de condensado, etc. Estas especificaciones estipulan los requisitos mínimos que el instalador deberá cumplir, respecto de los equipos y materiales a proporcionar en su oferta.

En particular, para este proyecto se solicita experiencia demostrable en instalaciones anteriores de sistemas de calefacción central por parte del instalador.

El recurso humano empleado en la instalación y montaje del sistema deberá ser calificado. Para el desplazamiento de los equipos hasta su lugar de montaje, se utilizará equipos apropiados de levante, adoptando las precauciones y normas de seguridad vigentes para este tipo de faenas. En todo caso deberá asegurar los equipos, hasta su colocación en los lugares adecuados.

Se debe considerar todos los fletes de los equipos y materiales proporcionados por el instalador, desde el lugar de su adquisición, hasta su ubicación definitiva en la obra.

El instalador deberá contemplar el cumplimiento de las respectivas leyes sociales, pago de imposiciones previsionales, seguros de cesantía, seguros de accidentes del trabajo, y todas las obligaciones que les correspondan respecto del personal laboral que participe en la obra.

#### **12.1.2.2 Planos y Documentación**

Todas las ubicaciones indicadas en los planos deberán ser confirmadas en obra. En todo caso, el instalador deberá entregar planos definitivos, as built, en AutoCAD-2D una vez concluida la obra. Deberá contemplar en los costos la modificación e impresión de los planos as built. En los planos se han considerado los espacios para permitir el mantenimiento de cada equipo. El instalador será responsable de verificar los espacios de acuerdo con la marca del equipo que se suministre, en definitiva.

Antes de proceder a la recepción definitiva de la obra, el instalador deberá entregar al Inspector Técnico de Obra, ITO, designado por el mandante para tales efectos, la siguiente documentación:

- ) Certificado de recepción conforme emitido por parte del Servicio de Salud con relación a la instalación en sala de calderas.
- ) Certificado de regularización de la instalación eléctrica ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, SEC, solicitado al contratista de electricidad, quien es el responsable de realizar la inscripción en la SEC.
- ) Catálogos de todos los equipos considerados en el proyecto y que se encuentran especificados más adelante.
- ) Los diagramas de conexiones eléctricas, ubicados en la parte interior de la puerta de los tableros eléctricos.
- ) Un manual de operación del sistema.
- ) Planos as built en AutoCAD-2D, en versión digital y en papel, firmados.

#### **12.1.2.3 Normas**

La instalación deberá efectuarse de acuerdo con normas y procedimientos de la especialidad, tales como Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association, SMACNA, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE, y Carrier Corporation,



CARRIER, entre otras, además de respetar las normas vigentes estipuladas por la SEC, el INN, el Servicio de Salud y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

#### **12.1.2.4 Modificaciones**

Cualquier modificación que se desee realizar al proyecto, antes o durante la instalación, respecto de lo estipulado en las presentes especificaciones, deberá ser consultada con el proyectista, los arquitectos y el mandante, esto último por intermedio del ITO que para estos fines se designe. El instalador asume la absoluta responsabilidad de dejar el sistema completamente instalado y en correcto funcionamiento en todas sus partes y no podrá excusarse, en caso, que ello no sucediese, aduciendo que el proyecto es incompleto. Esta cláusula forma parte de su contrato.

En caso, que el fabricante de los equipos exija algún accesorio o elemento especial no indicado en este proyecto, será responsabilidad del instalador el suministro e instalación de dicho accesorio o elemento, sin que esto signifique aumento de obra. Esto último también es válido en caso, que de fábrica se produzcan cambios en los equipos respecto de lo aquí estipulado.

#### **12.1.2.5 Coordinación**

La instalación de esta partida deberá estar estrechamente coordinada con las de obras civiles, agua potable y electricidad, incluido lo relativo al sistema de combate de incendios. El instalador, en la etapa de elaboración de presupuestos, deberá ver oportunamente proyectos de las otras especialidades a fin de evitar conflictos de responsabilidad entre subcontratistas o instaladores, durante la obra. Además, deberá considerar en su oferta todos los requerimientos que la especialidad de calefacción tiene de parte de la obra civil, como también de parte de otras especialidades, a fin de que estos requerimientos sean considerados en los presupuestos de las otras especialidades.

#### **12.1.2.6 Garantías**

Los equipos serán de marcas de reconocido prestigio, similares a las indicadas en estas especificaciones, garantizando servicio técnico de mantenimiento, reparaciones y repuestos.

#### **12.1.2.7 Supervisión de la Obra**

El instalador mantendrá un profesional idóneo a cargo de la obra. Este profesional tendrá suficiente experiencia y responsabilidad como para resolver los problemas habituales, tanto técnicos como administrativos que se presenten.

### 12.1.2.8 Pruebas y Puesta en Marcha

Se deberán considerar todas las pruebas para la puesta en marcha de los equipos y dejar el sistema de calefacción funcionando adecuadamente. Los costos para la etapa de pruebas y puesta en marcha del sistema también deben ser considerados en el presupuesto de esta especialidad.

## 12.2 Condiciones de Cálculo

El estudio de la carga térmica para el proyecto de calefacción distrital, bajo condiciones de régimen estacionario, se ha realizado teniendo presente los criterios de cálculo presentados en Tabla 86.

<b>Temperaturas de Proyecto</b>	T° Confort General Invierno	20°C
	T° Exterior Invierno	3°C
	T° Tierra	8°C
<b>Coefficiente Volumétrico de Transferencia de Calor</b>	Edificio de Hormigón Sin Aislación Térmica	2,96 W/m <sup>3</sup> K
	Edificio de Hormigón Con Aislación Térmica	1,02 W/m <sup>3</sup> K
	Edificios Construidos en Madera Sin Aislación Térmica	2,45 W/m <sup>3</sup> K
	Edificios Construidos en Madera con Aislación Térmica	1,60 W/m <sup>3</sup> K

Tabla 86 Estudio carga térmica

## 12.3 Especificaciones Técnicas – Sistema de Calefacción

Descripción, las dos calderas instaladas en sala de caldera, alimentarán dos estanques de inercia y luego mediante una bomba de agua, BCAL-03, se alimentará las matrices centrales de los edificios considerados por el sistema de calefacción distrital, mediante manifolds de surtidor y retorno, S/R, conectados a ambos estanques inerciales.

### 12.3.1 Sala de Calderas

Las calderas se instalarán en una sala cuyas especificaciones técnicas serán proporcionadas por el arquitecto del proyecto. Deberá contemplar al menos:

- ) Volumen de 165 m<sup>3</sup> mínimo, con una altura mínima de 3,3 m.
- ) La sala y la puerta deberán ser construidas en material no combustible.
- ) Piso de radier, canal de desagüe, alimentación de agua potable.
- ) Cuatro celosías para ventilación, dos en parte inferior de puertas y dos en parte superior de pared, de 300 mm x 300 mm.

- J Iluminación adecuada.
- J Extintor contra incendio con cargo al instalador.
- J Silo de almacenamiento de combustible para aproximadamente 100 m<sup>3</sup>

La sala de calderas deberá contar con todos los requisitos exigidos por el fabricante y/o proveedor de estas (Moreno, 2018b).

Será con cargo al instalador, la conexión de agua potable desde la red hacia la matriz de calefacción, para lo cual deberá solicitar al subcontratista de agua potable dejar alimentación de agua de ¾" en la sala de caldera.

#### 12.3.1.1 Caldera

Corresponde a los equipos del sistema de calefacción central que suministra agua caliente para los radiadores.

#### FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROYECTO	:	Facultad de Ciencias de la Ingeniería - UACH
PROPIETARIO(A)	:	Universidad Austral de Chile
EQUIPO	:	Caldera de calefacción
UBICACION	:	Sala de calderas
DESIGNACIÓN	:	CAL-01 y CAL-02
PREPARADA POR	:	Rogelio Moreno

---

#### ESPECIFICACIONES

Cantidad	:	2
Tipo	:	Caldera de biomasa
Combustible	:	Astillas de biomasa forestal
Capacidad térmica calefacción	:	245 kW
Eficiencia térmica	:	93,2% mínimo, a potencia nominal
Presión máxima de servicio	:	3,5 bar

Marca : KWB

Modelo : Powerfire TDS 240

**Accesorios Mínimos:** Termómetro indicador de temperatura de agua 0-110°C, acuastato de funcionamiento con selector de temperatura de suministro actuando sobre el alimentador de combustible de la caldera, válvula de seguridad, manómetro, válvula de desagüe y unión a chimenea con regulador de tiraje.

**Conexiones:** La caldera se conectará a la matriz del circuito primario de la red de calefacción a través de cañería American Society for Testing and Materials, ASTM, grado A53 Sch40 en diámetro de 3”.

**Ubicación:** Según plano, con distancia mínima de 1 m entre caldera y las paredes de sala de caldera, respetando además las exigencias del proveedor, según catálogo.

**Montaje:** Sobre base de hormigón de 10 cm de altura que deberá ser proporcionada por la obra civil. Se deben dejar los espacios suficientes para el mantenimiento de la caldera.

**Alimentación de Agua:** La alimentación de agua a los circuitos de calefacción deberá construirse en cañería de cobre y conectada al terminal de ¾”, de la red de agua potable que deberá dejar el instalador del proyecto sanitario en sala de caldera. El instalador térmico deberá coordinar con el subcontratista del proyecto de agua potable las responsabilidades de cada uno en la ejecución de la obra, según lo que se indica en estas EETT, antes de entregar sus presupuestos a fin de no producir ambigüedades durante la obra. En la matriz surtidora de agua a la caldera, deberá instalarse un indicador de presión del sistema.

**Alimentación de combustible:** La alimentación de astillas al quemador de la caldera deberá realizarse con tornillo sin fin según las instrucciones de instalación del proveedor y que aparecen en catálogo adjunto, garantizando los flujos de astillas requeridos para el correcto funcionamiento de la caldera a cargas nominal y parcial. Así mismo deberá garantizarse un silo de almacenamiento de combustible de acuerdo con las exigencias del proveedor.

El instalador deberá coordinar con el proveedor de las calderas las responsabilidades de cada uno en la ejecución de la obra, según lo que se indica en estas EETT, antes de entregar sus presupuestos a fin de no producir ambigüedades durante la obra.

**Observación General:** El instalador deberá verificar que se cumple con todas las exigencias del fabricante de las calderas, que aparecen estipuladas en catálogo para fines de garantía de estos. Cualquier accesorio o elemento no especificado en este proyecto que se requiera para la correcta

instalación y funcionamiento de las calderas y otros accesorios o elementos deberán ser considerados por el instalador en su oferta y no podrán ser considerados con posterioridad como aumento de obra.

#### **12.3.1.2 Chimeneas**

La evacuación de los gases de combustión de las calderas se efectuará a través de una chimenea construida en plancha de fierro negro de 3 mm de espesor. Deberá llevar aislación térmica con lana mineral de 50 mm de espesor y protección metálica con chapa de acero de 0,4 mm de espesor; esta última, pintada con dos manos de pintura antióxido color negro. La chimenea debe ser fabricada, aislada y protegida en taller, a fin de lograr un cilindrado adecuado de ella y de su protección.

La chimenea deberá ser autosoportante sobre fundación de hormigón adecuada al tamaño y peso de la chimenea y montada en el interior de la sala de caldera.

Su diámetro deberá ser el especificado por el fabricante en función de la capacidad de la caldera y altura de chimenea. Debe contemplarse la conexión de la caldera a la chimenea a través de un ducto de diámetro especificado por el fabricante de la caldera, construido en plancha de fierro negro de 3 mm de espesor. En este tramo se deberá instalar el templador regulador de gases de la combustión, tipo lengüeta. La chimenea, en su parte inferior, deberá contemplar una puerta registro y evacuación al exterior de eventuales residuos líquidos condensados en su interior.

#### **12.3.1.3 Redes Surtidor y Retorno**

Deberán respetarse todos los puntos que a continuación se mencionan:

- ) Se deberá contemplar una red de retorno directo en diámetros y recorridos especificados en planos para el circuito secundario. Desde cada caldera saldrá una matriz principal ASTM de 3" de diámetro hacia su correspondiente estanque inercial, tal como se especifica en los planos, desde el que se distribuye agua caliente al sistema de calefacción central por medio del colector surtidor. Las matrices de retorno de la calefacción se unirán en el colector de retorno y finalmente al estanque inercial.
- ) Las matrices de los circuitos secundarios de agua de calefacción derivados del estanque inercial serán certificadas en material polipropileno copolímero Random PPR Clima Flow CT Faser. Irán aisladas y en canal de concreto desde sala de calderas hasta el ingreso al edificio. El montaje por el interior de sala de caldera debe ser con las matrices aisladas térmicamente. El montaje de las matrices en canal de concreto debe hacerse de tal forma que permita que ellas mantengan una perfecta horizontalidad, excepto en lo que a pendientes se refiere; es

decir, se debe evitar la deformación por acción de la temperatura de la red, para lo cual se debe respetar las indicaciones de montaje del proveedor, según catálogo adjunto.

- J La matriz principal de la caldera, en surtidor y retorno, deberá estar provista de válvulas de compuerta de 3" para 150 lb/in<sup>2</sup> Water, Oil or Gas, WOG, de rating, de fierro fundido y asiento de acero inoxidable, podrán ser de bola y de acero inoxidable, las cuales servirán para efectos de independencia de la caldera respecto de la red. Estas válvulas deberán llevar conexiones tipo flanges para acoplamiento a la red.
- J En la unión de las cañerías de fierro ASTM se empleará soldadura oxiacetilénica, en cordón parejo sin porosidades. Las curvas, codos y liras de dilatación de la red se deberán efectuar con fittings y no se aceptarán codos ejecutados con cañerías curvadas. Antes de instalar las cañerías de fierro, deben ser pintadas con dos manos de anticorrosivo, en colores verde y rojo.
- J En la unión de los tubos PPR CT Faser, las curvas, codos y liras de dilatación de la red se deberán efectuar con fittings indicados por el proveedor.
- J Una vez realizada la matriz, se deberá probar hidráulicamente con una presión de 8 bar durante 24 horas, en presencia del ITO, quién la deberá aprobar. Posteriormente, se procederá a aislar las matrices que corresponda. Las cañerías que van a la vista en el interior del recinto, para conexión de radiadores, no llevarán aislamiento térmico y deberán quedar perfectamente aplomadas.
- J El aislamiento térmico deberá ser individual en surtidor y retorno, en todo el perímetro de las cañerías. Deberán respetarse los codos de dilatación indicados en planos, con el fin de garantizar la libre dilatación de las cañerías por cambios de temperatura. El montaje de las cañerías o tubos debe efectuarse de tal forma de permitir la dilatación de las redes a través de soportes fijos y deslizantes. Las pasadas a través de muros, pisos y vigas deberán efectuarse empleando tubos de mayor diámetro.
- J Las pendientes indicadas deberán respetarse dentro de las limitantes físicas de la obra. En todo caso, en aquellos sectores donde, por espesores de losas y/o pisos, no sea posible respetar las pendientes, deberá efectuarse un tendido totalmente horizontal, evitando los puntos altos; en caso contrario, se deberá consultar purgadores automáticos de acero inoxidable en todos los puntos altos del sistema. Los purgadores indicados en planos son los mínimos que deberá consultar el instalador. Todas las cañerías deberán quedar perfectamente aplomadas.

#### **12.3.1.4 Aislamiento Térmico**

Las cañerías matrices de calefacción que van en sala de caldera y en canal de concreto llevarán aislamiento térmico de lana mineral de 25 mm de espesor, el cual deberá ser hermetizado.

#### **12.3.1.5 Termómetros**

Se instalará termómetro en colector surtidor. Los termómetros serán de esfera, no menor a 50 mm diámetro. Su límite de temperatura superior estará en el rango del 120% al 200% del valor de operación normal; su error de lectura no será mayor al 2% de su límite de temperatura superior. Serán instalados a la cañería mediante copla con hilo; se proveerá un fluido conductor térmico para bañar el bulbo del termómetro.

#### **12.3.1.6 Manómetros**

Se instalará manómetro en bomba de agua. El manómetro será de esfera no menor a 50 mm diámetro, con cuerpo de aluminio. Su límite de presión superior estará en el rango del 120% al 200 % del valor de operación normal; su error de lectura no será mayor al 2% de su límite de presión superior; su aguja será ajustable para calibración. Se dotará de válvula de aguja de 1/4".

#### **12.3.1.7 Control del Sistema de Calefacción**

Se deberá incluir en la oferta un sistema de control automático para el funcionamiento del sistema térmico, en los siguientes términos:

- ) Las calderas deberán programarse con timer según horario determinado por la administración de los edificios. Las calderas deben poseer un sistema de control que debe venir explicado en catálogo y al cual el instalador deberá ajustarse.
- ) Control de temperatura del agua en surtidor de la caldera mediante acuastato, el cual debe actuar sobre el quemador de la caldera. Se fijará en tablero de control de la caldera en 85°C. La temperatura de retorno no podrá ser inferior a 65°C.
- ) Las bombas de calefacción deberán poseer un timer para fijar horario de funcionamiento del sistema de calefacción, con arranque a 35°C de temperatura en caldera, se debe incluir acuastato.
- ) Alimentación automática de agua desde la red de agua potable, a las redes de calefacción con alimat.
- ) Otros controles y funciones básicas en caldera, como acuastato de seguridad de la caldera según temperatura máxima de servicio.



### 12.3.1.8 Bombas Circuladoras para Calefacción Circuito Primario de Calefacción

Se instalarán bombas de circulación conectadas mediante flanges al retorno de la matriz principal del circuito primario de calefacción de las calderas, CAL-01 y CAL-02, entre válvulas, de tal manera que permitan su retiro para mantención, sin que sea necesario vaciar la red. Permitirán la recirculación de agua entre la caldera y el estanque de inercia.

Las válvulas serán de compuerta o de bola, de acero inoxidable, para 150 lb/in<sup>2</sup> WOG, de diámetros especificados en planos y conexiones mediante flanges.

Deberá instalarse un filtro de hierro fundido con malla filtrante de acero inoxidable, en la succión de las bombas, según indicación de planos.

Cada bomba deberá ir en duplicado. Una bomba será de funcionamiento normal y la otra de repuesto; para ello, deberán ser instaladas en paralelo en un arreglo baipás. Las bombas deberán cumplir con las siguientes características técnicas:

#### FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROYECTO	:	Facultad de Ciencias de la Ingeniería UACH
PROPIETARIO(A)	:	Universidad Austral de Chile
EQUIPO	:	Bomba de recirculación primario de calefacción
UBICACION	:	Sala de caldera
DESIGNACIÓN	:	BCAL-01
PREPARADA POR	:	Rogelio Moreno

---

#### ESPECIFICACIONES

Presión estática	:	1,33 mca
Caudal	:	10,79 m <sup>3</sup> /h para un diferencial de 20°C
Marca	:	DAB o de similares características
Modelo	:	BPH 60/250.40M a 2.830 rpm
Motor	:	316 W, 1-50-230
Cantidad	:	2

Temperatura de servicio : 90°C

#### FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROYECTO : Facultad de Ciencias de la Ingeniería UACH  
PROPIETARIO(A) : Universidad Austral de Chile  
EQUIPO : Bomba de recirculación primario de calefacción  
UBICACION : Sala de calderas  
DESIGNACIÓN : BCAL-02  
PREPARADA POR : Rogelio Moreno

#### ESPECIFICACIONES

Presión estática : 1,33 mca  
Caudal : 10,79 m<sup>3</sup>/h para un diferencial de 10°C  
Marca : DAB o de similares características  
Modelo : BPH 60/250.40M a 2.830 rpm  
Motor : 316 W, 1-50-230  
Cantidad : 2  
Temperatura de servicio : 90°C

#### 12.3.1.9 Bombas Circuladoras para Calefacción Circuito Secundario

Se instalarán bombas de circulación conectadas mediante flanges al retorno de la matriz principal del circuito secundario de calefacción, BCAL-03, entre válvulas, de tal manera que permitan su retiro para mantenimiento, sin que sea necesario vaciar la red. Permitirán la recirculación de agua entre los vasos inertiales y las matrices de los diferentes edificios.

Las válvulas serán de compuerta o de bola, de acero inoxidable, para 150 lb/in<sup>2</sup> WOG, de diámetros especificados en planos y conexiones mediante flanges.

Deberá instalarse un filtro de hierro fundido con malla filtrante de acero inoxidable, en la succión de las bombas, según indicación de planos.

La bomba deberá ir en duplicado. Una bomba será de funcionamiento normal y la otra de repuesto; para ello, deberán ser instaladas en paralelo en un arreglo baipás. Las bombas deberán cumplir con las siguientes características técnicas:

#### FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROYECTO	:	Facultad de Ciencias de la Ingeniería UACH
PROPIETARIO(A)	:	Universidad Austral de Chile
EQUIPO	:	Bomba de recirculación secundario de calefacción
UBICACION	:	Sala de calderas
DESIGNACIÓN	:	BCAL-03
PREPARADA POR	:	Rogelio Moreno

---

#### ESPECIFICACIONES

Presión estática	:	28,9 mca
Caudal	:	39,6 m <sup>3</sup> /h para un diferencial de 10°C
Marca	:	DAB o de similares características
Modelo	:	CM-G 80-3420/A/BAQE/11 a 1.400 rpm
Motor	:	13.000 W, 3-50-400
Cantidad	:	1
Temperatura de servicio	:	90°C

#### 12.3.1.10 Estanques Inerciales

Se contemplan dos estanques inerciales, es decir, uno para cada circuito de agua de las calderas, CAL-01 y CAL-02, con el fin de minimizar las variaciones de temperatura del anillo de agua por efectos de las detenciones o partidas de las calderas. Los vasos inerciales además servirán de separadores hidráulicos de los circuitos primarios y secundario del sistema de calefacción permitiendo mantener un flujo constante en las calderas y evitar que estas se detengan y arranquen frecuentemente. Deberán ser fabricados con chapa de calidad inoxidable y procesos de soldadura en atmósfera controlada y tratamiento anticorrosivo interno. Deberán tener las siguientes características:

## FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROYECTO	:	Facultad de Ciencias de la Ingeniería UACH
PROPIETARIO(A)	:	Universidad Austral de Chile
EQUIPO	:	Estanques inerciales
UBICACION	:	Sala de calderas
DESIGNACIÓN	:	EINER-01 y EINER-02
PREPARADA POR	:	Rogelio Moreno

## ESPECIFICACIONES

Tipo	:	Estanque de agua, sólo acumulación
Capacidad	:	5.000 l
Aislamiento térmico	:	Mínimo 25 mm de espesor
Temperatura entrada circuito primario	:	85°C
Temperatura retorno circuito primario	:	65°C
Nivel de calidad	:	Suicalsa O.M.B. o similar en calidad técnica

### 12.4 Especificaciones Técnicas – Instalación Eléctrica

El instalador deberá coordinar con el contratista del proyecto eléctrico las responsabilidades de cada uno en la ejecución de la obra, según lo que se indica en estas especificaciones técnicas y planos, antes de entregar sus presupuestos a fin de no producir ambigüedades durante la obra.

Será con cargo a la obra eléctrica el suministro protegido de energía eléctrica al tablero de calefacción, TDFC, ubicado en sala de calderas según se indica en planos de clima. El tablero mencionado será alimentado desde el tablero eléctrico, TDA, según planos de clima y planos eléctricos para clima. Los tableros deben estar en concordancia con las potencias eléctricas indicadas en estas EETT. Los tableros TDFC de clima deberán ser implementados por el instalador, de acuerdo con diseño que deberá definir según potencias y sistema de control indicado en estas EETT.

Las cajas de alimentación de los equipos y su instalación, al igual que los tubos, cables y su instalación, entre las cajas de alimentación y los equipos de climatización, también son de

responsabilidad del instalador. Las cajas se instalarán en forma independiente por cada máquina y se ubicarán a un costado de cada una de ellas y desde éstas se harán las conexiones a regleta o bornera de los equipos y sistema de control.

Los selectores, interruptores y luces deberán estar rotulados correctamente mediante placas de acrílico. En parte externa de las puertas deberán rotularse tablero y pilotos de fase y en parte interna, pilotos de funcionamiento y falla, selectores y visualización de automáticos.

Junto con los planos as built, el instalador deberá entregar al momento de la entrega de la obra, un plano constructivo de los tableros.

Las bombas de agua deberán tener timer para programar horas de funcionamiento con arranque y detención automática, a petición del mandante. Los timer deben ser suministrados e instalados por el contratista eléctrico en punto a definir con el mandante.

Las conexiones eléctricas finales de los equipos, al igual que las pruebas y puesta en marcha, serán de responsabilidad del instalador.

Todos los equipos de calefacción deberán estar conectados a botoneras manuales de incendio o emergencia que se encuentran en puntos definidos por sistema de combate de incendio. Los equipos deberán poder desconectarse en caso de activación manual de cualquiera de las botoneras de emergencia existentes.

Por lo tanto, deberá coordinarse por parte del instalador con la obra de electricidad, la conexión de los equipos de calefacción a sistema de combate de incendio mediante detectores de incendio del tipo fotoeléctrico u otro que especifique el proyecto eléctrico del sistema de combate contra incendios e instalado en lugares a definir por dicho proyecto. Su instalación e interconexión será responsabilidad del instalador eléctrico, quien deberá proveer línea eléctrica alambrada entre tableros de calefacción y sistema de combate de incendio para transmisión de señales correspondientes. Se debe prever un interruptor manual para uso por parte de bomberos.

La instalación eléctrica deberá efectuarse atendiendo a las normas de la SEC. En particular los tableros deberán ser metálicos, con doble puerta, de dimensiones adecuadas y cumplir con las exigencias de las Normas Chilenas, NCh. La canalización por usar deberá ser metálica y no se aceptarán tubos de Polivinilo Cloruro, PVC.

El instalador deberá entregar un plano de construcción de conexiones eléctricas del sistema de calefacción y un esquema de conexiones pegado en la parte interior de las puertas del tablero o en la pared a un costado de este.

## **12.5 Pruebas, Puesta en Servicio y Entrega Calefacción**

### **12.5.1 Generalidades**

El instalador de la obra de calefacción deberá considerar el tiempo que sea necesario para las pruebas, con el fin de regular el sistema y entregarlo en correcto funcionamiento.

El contratista deberá proporcionar un manual de operación eficiente del sistema, e instruir a los usuarios de él, sobre su manejo.

Todos los elementos y equipos que constituyen las instalaciones de tratamientos ambientales serán sometidos a las correspondientes pruebas de funcionamiento y operación, con el objeto de verificar su correcta instalación y a la vez comprobar los rendimientos anunciados por los fabricantes y estas especificaciones.

### **12.5.2 Trabajos Preliminares a Pruebas Calefacción**

Limpieza, todas las cañerías deberán ser limpiadas. Todo material extraño deberá ser eliminado de las cañerías, siendo limpiadas cuidadosamente antes de poner en marcha las bombas. Deberá obtenerse una aprobación de la Inspección, una vez realizadas estas tareas previas.

Filtros provisorios, antes de realizar las pruebas individuales de cada sistema de cañerías, se protegerán las bombas, equipos enfriadores, serpentines, etc.

### **12.5.3 Pruebas de Cañerías de Calefacción**

Todas las cañerías instaladas, sin ninguna excepción, serán sometidas a pruebas hidrostáticas o neumáticas; las que deberán cumplir en todo momento con los requerimientos de estas especificaciones.

Operatoria, para la realización de las pruebas de presión, deberán bloquearse las válvulas de seguridad, e instalar los manómetros adecuadamente calibrados y con escala suficiente para el rango de la prueba. No se aceptará la utilización de los manómetros de control definitivos del sistema, los cuales serán instalados posteriormente al período de pruebas.

Una vez terminadas las pruebas hidrostáticas, las válvulas de seguridad y alivio se instalarán y probarán con sus condiciones de diseño y operación.

#### **12.5.4 Operación de Equipos**

El instalador operará los equipos por el período de una semana, contado desde la recepción provisoria. Durante este período corregirá todas las fallas que se detecten por parte del personal propio o del cliente.

Durante este período el instalador entrenará a personal del cliente en la operación del sistema, llevará registros detallados en todas las temperaturas medidas, tanto en termómetros como en termostatos, y de todas las presiones.

El contratista deberá entregar un manual de mantenimiento al mandante junto con un plano legible y enmarcado de la instalación de calefacción, para ser usado en sala de equipos térmicos y con los recorridos as built en futuros trabajos de mantenimiento.

##### **12.5.4.1 Supervisión**

El contratista mantendrá un profesional idóneo a cargo de la obra. Este profesional tendrá suficiente experiencia y responsabilidad como para resolver los problemas habituales, tanto técnicos como administrativos que se presenten.

##### **12.5.4.2 Recurso Humano**

El recurso humano que se utilice para la instalación y montaje del sistema deberá ser de primera calidad.

#### **12.6 Planos**

En los planos de ingeniería básica han quedado indicados los requerimientos esenciales del proyecto de calefacción distrital:

- ) Central de biomasa: calderas, estanques de inercia, bombas de circulación, silo de almacenamiento de combustible, sistema de alimentación de combustible, tablero eléctrico.
- ) Distribución de puntos de consumo de energía de la central de biomasa en el Campus Miraflores.
- ) Trazado de la red de distribución de agua desde la central de biomasa hasta los puntos de consumo: matrices de calefacción, aislamiento, liras de dilatación. Todo lo cual representa una base para el desarrollo de la ingeniería de detalle, que no forma parte de los términos de referencia de este proyecto.



## 12.7 Presupuesto Optimizado

A partir de los planos de ingeniería básica y sin perjuicio de la optimización económica del proyecto, se evaluó con una empresa especializada en suministro de equipos, el costo de los principales equipos y cañerías del sistema distrital, la evaluación permitió una reducción de costos en el ítem calderas de aproximadamente 2,8%. Los costos de los distintos componentes y equipos se muestran en la Tabla 87, donde se puede observar que el costo principal son las calderas que representan en 53% del costo total del proyecto.

Cantidad	Ítem	Costo Cot 1 (USD)	Costo Cot 2 (USD)	Costo Cot 3 (USD)	Porcentaje del costo total (%)
2	Caldera KWB Powerfire TDS 240 de 245 kW	123.496	122.429	119.980	52,5%
2	Kit de extracción combustible con agitador	13.992	13.992	13.992	6,0%
2	Kit chimenea Powerfire TDS 240	1.236	1.236	1.236	0,5%
2	Sistema electrónico caldera Powerfire TDS 240	3.325	3.325	3.325	1,4%
2	Estanques Inerciales de 5000 l	11.426	11.426	11.426	4,9%
4	Bombas de agua caliente para circuito primario	3.728	3.728	3.728	1,6%
1	Matriz de calefacción 1500 m	31.959	31.959	31.959	13,6%
1	Matriz circuito primario	327	327	327	0,1%
2	Bomba de agua caliente para circuito de calefacción	7.326	7.326	7.326	3,1%
2	Depósito de expansión de 500 l	2.250	2.250	2.250	1,0%
7	Intercambiadores de placa	1.099	1.099	1.099	0,5%
	Aislación de matrices	4.872	4.872	4.872	2,1%
	Fittings, válvulas, accesorios y otros	29.995	29.995	29.995	12,8%
	Costo Neto Equipos	235.031	233.964	231.515	

Tabla 87 Presupuesto de equipos optimizado

## 12.8 Evaluación Económica

La optimización del costo de los equipos permite una disminución de la inversión inicial del proyecto, la cual se establece en USD 343.965 como se puede apreciar en la Tabla 88, con esta información se obtiene un VAC positivo hasta el precio de USD 70/ton de astillas, valor para la que la TIR es de 6,4% y el PRI es de 12 años. Estos resultados no varían significativamente con respecto a la evaluación económica posterior como se puede apreciar en la Tabla 89.

Cantidad	Ítem	Costo Cot 2 (USD)
2	Caldera KWB Powerfire TDS 240 de 245 kW	119.980
2	Kit de extracción combustible con agitador	13.992
2	Kit chimenea Powerfire TDS 240	1.236
2	Sistema electrónico caldera Powerfire TDS 240	3.325
2	Estanques Inerciales de 5000 l	11.426
4	Bombas de agua caliente para circuito primario	3.728
1	Matriz de calefacción 1500 m	31.959
1	Matriz circuito primario	327
2	Bomba de agua caliente para circuito de calefacción	7.326
2	Depósito de expansión de 500 l	2.250
7	Intercambiadores de placa	1.099
	Aislación de matrices	4.872
	Fittings, válvulas, accesorios y otros	29.995
	Costo Neto Equipos	231.515
	Instalación central térmica y piping - 20% CNE	46.303
	Obras civiles para sala de máquinas y silo	11.228
	Costo Total Neto	289.046
	I.V.A. - 19%	54.919
	Costo Total	343.965

Tabla 88 Inversión inicial proyecto optimizado

Para la realización de la evaluación económica se mantuvieron las definiciones realizadas en el punto 11.1.3.4.

Costo Astillas (USD/ton)	15	45	63	70	120
Costo Astillas (\$/kg)	9	27	38	42	72
VAC	\$101.640.432	\$60.296.138	\$35.030.181	\$25.842.560	-\$43.064.596
TIR	10,1%	8,1%	6,9%	6,4%	2,5%
PRI	9	10	11	12	17

Tabla 89 Evaluación económica proyecto optimizado

## 13. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones más relevantes referidas a la encuesta aplicada, a los costos asociados al suministro de biomasa disponible, biomasa aprovechable y redes y a las evaluaciones técnicas y económicas de los proyectos desarrollados a la fecha:

### **SOBRE LA ENCUESTA**

#### **Respecto de la materia prima:**

- ) Los datos en términos generales expresan que existen aproximadamente un total de residuos madereros generados por parte de la industria en la región de aproximadamente 469.000 m<sup>3</sup>/año.
- ) Es importante resaltar un significativo 22% de abastecimiento que proviene de pequeño y/o mediano propietario de bosques, esto es el caso de la mayoría de los 130 aserraderos regionales.
- ) La clasificación de las especies forestales que la industria primaria consume muestra que el *PR*, pino oregón, y el roble como las más representativas con un 33%, 27% y 13% respectivamente.
- ) El *PR* es la principal especie y su 33% equivale a casi 45.000 m<sup>3</sup> lo que sería equivalente a 180.000 m<sup>3</sup> para la industria primaria considerada en este estudio.

#### **Respecto de los desechos madereros:**

- ) Un 75% de estos desechos son aserrín, lampazo y desechos de corteza.
- ) El principal desecho producido es el aserrín, en total el volumen de desechos supera los 11.000 m<sup>3</sup>/año, de esto aproximadamente 6.000 m<sup>3</sup>/año corresponden a aserrín.
- ) Casi el 50% de las empresas de la industria primaria no utiliza los desechos, éstos son simplemente desperdiciados.
- ) Sólo un 23% venden sus desechos al público general y un 11% es vendido a empresas que se dedican al astillado de desechos madereros.

#### **Respecto al uso de los desechos madereros:**

- J De los aserraderos encuestados, el 46% de éstos usa electricidad como la principal fuente energética, un 17% consume energía térmica, en forma de vapor, específicamente para procesos de secado de madera.
- J Casi un 40% de los aserraderos en la región no usa/no responde sobre el consumo de algún tipo de energía; esto es porque, corresponde principalmente a los tipos de aserraderos “móviles” en donde el consumo de combustibles fósiles como la bencina y el diésel son los más importantes medios energéticos.
- J Casi un 90% de los encuestados, responde negativamente respecto a que, si la instauración de una planta de generación eléctrica consumiendo desechos forestales puede generar competencia con sus procesos de abastecimiento y disponibilidad de materia prima.

Los resultados de la aplicación de la encuesta a la industria primaria muestran que el desarrollo industrial está marcado por los grandes actores de la industria y aquellos pequeños y medianos que pudiendo ser más competitivos no cuentan con un plan de desarrollo sustentable ni al mediano ni largo plazo.

Las tecnologías usadas por la pequeña y mediana empresa son antiguos y sin un plan de prolongación de vida útil o de reemplazo.

Si bien mucha información es entregada en la encuesta, no toda pudo ser tabulada ya que en algunos casos las entrevistas personales permitieron conocer más antecedentes de los procesos actuales y de lo que esperarían para el futuro.

El desarrollo de este estudio permitiría facilitar la inclusión de tecnologías a la industria primaria que conllevaría a planes de desarrollo acordes.

Una posible estrategia se puede enfocar en el establecimiento de modelos de negocios asociativos, que permitan una venta en conjunto de la producción de desechos madereros para la generación de energía.

Se visualiza una necesidad de desarrollar una estrategia de incorporación a la cadena de valor, del producto de los desechos madereros para la generación de energía, debido a que los pequeños y medianos empresarios, en algunos casos desechan este producto y no lo consideran como una opción de negocios.

Los riesgos que se pueden enfrentar están más que nada referidos, a los riesgos propios del sector de la madera, que es la falta de abastecimiento de materias primas, situación que es inherente al sector, debido a las barreras de entrada a la propiedad de los bosques que hoy tienen los pequeños y medianos empresarios de la industria primaria, por la alta concentración en grandes empresas forestales. Otro

riesgo relevante, podría ser la competencia de nuevos productos asociados al uso de los desechos de la madera como, por ejemplo, la fabricación de tableros y otros productos similares.

Existe un potencial interesante de uso de los desechos de la madera, pero estos deberían ser acompañados de los desarrollos de tecnología acordes y a recursos de soporte provenientes de subsidios e incentivos y entorno a políticas públicas regionales adecuadas para incorporar a este producto en la cadena de valor del sector.

### **SOBRE LOS COSTOS DE LA BIOMASA DISPONIBLE Y APROVECHABLE**

- ) El estudio confirma la disponibilidad de biomasa de residuos de la producción de leña, de residuos de cosecha de plantaciones forestales y residuos de la industria primaria de la madera, en cantidades suficientes y a costos competitivos con otros combustibles para desarrollar proyectos de pequeña y mediana escala usando biomasa, por ejemplo, con necesidades de suministro menor a 30.000 TS/año.
- ) Los resultados confirman que el aprovechamiento de BN exclusivamente para biomasa con fines energéticos no es viable económicamente por condiciones físicas como fragmentación de la oferta y dispersión respecto de los centros de consumo, y también debido a los mejores precios de combustibles alternativos como la leña.
- ) El aprovechamiento de los residuos de la producción de leña o de otro producto superior que pague los costos de accesibilidad predial y parte de la cosecha, aparece como opción viable, sin embargo, corresponde a una actividad no realizada hasta el momento y por lo tanto su adopción requerirá esfuerzos importantes de información y capacitación. Este escenario abre además la posibilidad de entrada de nuevos actores intermediarios para gestionar esta biomasa.
- ) El escenario de astillado a orilla de camino es la opción más conveniente para residuos de cosecha, residuos de producción de leña y lampazos. Este método se basa en aprovechar las condiciones ambientales favorables para disminuir el contenido de humedad de la biomasa durante un tiempo de apilado en el predio, antes del astillado y no requiere de inversión en almacenamiento. La recolección mecanizada de residuos se lleva a cabo en superficies mayores a 25 ha para compensar el elevado costo que significa el traslado de equipos.
- ) El escenario de astillado centralizado o en planta se presenta como una estrategia relevante para la recolección de residuos en faenas de pequeña o mediana escala, menor a 25 ha, en donde no sea posible realizar el astillado en predio por razones de accesibilidad. Además, puede generar economías de escala en procesos, en poder de negociación, y facilita asegurar

un stock suficiente de biomasa cuando el consumidor necesita un suministro frecuente y constante por razones de espacio.

- ) La utilización de los desechos de la industria de la madera, tipo aserrín y corteza, se presentan como la biomasa económicamente más conveniente para proyectos biomásicos de pequeña y mediana magnitud.
- ) Pequeños consumidores ubicados en localidades distantes no compiten entre sí, ya que cada uno preferirá proveedores más cercanos, priorizando aquellos dentro de un radio de transporte de 50 km.
- ) La biomasa residual tiene otras opciones de uso como la fabricación de tableros, biocombustibles sólidos y leña, no obstante, la disponibilidad teórica de biomasa en la región de Los Ríos sugiere que no existe riesgo de competencia en el corto y mediano plazo entre usos tradicionales de la madera con potenciales nuevos proyectos usando biomasa.
- ) Finalmente, y respecto de las estimaciones de disponibilidad teórica y de los escenarios de utilización potencial, las principales incertidumbres están relacionadas con el número de productores que estarán dispuestos a participar en un nuevo mercado de suministro de biomasa. En circunstancias en que aún no existe un costo de oportunidad nítido, sobre todo para el productor de leña, queda la duda si éste estará dispuesto a traspasar sin beneficio sus residuos. Respecto de la industria primaria de la madera también existe incertidumbre en relación con las disponibilidades futuras reales de residuos, considerando que éstas actualmente utilizan una fracción para autoconsumo. Todas estas incertidumbres tienen relación principalmente con el estado incipiente del mercado de la biomasa en la región de Los Ríos.

## **SOBRE LOS PROYECTOS DESARROLLADOS**

### **Proyecto 1 Campus Teja Universidad Austral de Chile**

Se contempla una red de calefacción bajo tierra, de aproximadamente 750 m de extensión en forma de anillo, para abastecer entre 15 a 20 puntos de consumo. Considerando el tipo de consumo de la UACH y que una parte de la energía es almacenada en estanques de inercia, se contempla en el estudio de factibilidad una demanda alta de 1.044 kW.

El estudio concluye con una central distrital de una capacidad de 1.100 kW, los cuales serían cubiertos con una caldera de biomasa de 600 kW, un estanque de inercia de 40 m<sup>3</sup> y una caldera auxiliar de 500 kW. Se estima en 500 ton/año el consumo de biocombustible, astilla de proveedores externos a la UACH, con una humedad de 35%, lo cual representa un ahorro de 16% respecto de un sistema en base

a calderas individuales con combustible en formato tipo leña certificada. El silo de almacenamiento se considera de 100 m<sup>3</sup> como mínimo para una autonomía de 1 semana.

Los resultados de la evaluación económica revelan que el proyecto presenta una viabilidad hasta un costo de astillas de \$42/kg, esto quiere decir, un VAC positivo. Cuando se considera el costo de la astilla en \$72/kg, que fue el valor más alto que se colectó de proveedores, el proyecto se hace inviable. Respecto al PRI depende fuertemente del precio del combustible y varía entre 7 a 10 años.

### **Proyecto 2 Campus Teja Universidad Austral de Chile**

Las conclusiones preliminares a las que se ha llegado, en cuanto a las mejores opciones para generación térmica, son: uso de calderas convencionales consumiendo astillas con humedad de 55%, uso de calderas convencionales consumiendo astillas con humedad de 40%, uso de bombas de calor agua/agua y bombas de calor geotérmica. La opción de usar bombas de calor es descartada producto de las condiciones actuales de la envolvente térmica de los edificios considerados en el estudio.

Respecto a la posibilidad de generación eléctrica, en consideración a los altos costos de electricidad que tiene la UACH, se descartó la opción con biomasa, debido a sus altos costos de inversión de la tecnología; se compararon estos costos con antecedentes recopilados y presentados en sección Costos de Inversión de Tecnologías de Conversión del Capítulo previo los que generan un período de retorno elevado para lo requerido por la UACH, que debiera ser menor a 5 años.

Por lo anterior, se concluye que las alternativas viables son generación de energía térmica con biomasa y cogeneración con combustibles gaseosos, como el gas licuado y/o gas natural. En base a lo anterior, para los fines de este estudio, se deja descartada la opción de cogeneración.

Los resultados de la evaluación económica muestran que el proyecto presenta una viabilidad hasta un costo de astillas de \$15/kg, esto quiere decir, un VAC positivo. Cuando se considera el costo de la astilla superior a este valor, el proyecto se hace inviable. Respecto al PRI es posible inferir que mientras más bajo el costo de la astilla el proyecto se viabiliza en un periodo más corto, como era de esperar.

### **Proyecto Campus Miraflores Universidad Austral de Chile**

En este proyecto se considera que, de la demanda térmica de los edificios considerados en el estudio, 755 kW para 10.342 m<sup>2</sup>, el 85% de esta carga debiera ser cubierto por astillas combustible, un 7,5% por diésel y el restante 7,5% por electricidad. La potencia de la central de biomasa considera los equipos existentes en cada uno de los edificios.



De la potencia total demandada, el presente anteproyecto distrital contempla cubrir 450 kW con biomasa y el diferencial debiera ser cubierto por las actuales calderas o bombas de calor, las que se contempla mantener para cubrir sólo los periodos de alta demanda de calefacción. Se considera para las fuentes de calor, calderas, una temperatura de suministro de 85°C, en el supuesto que se obtendrá en los puntos de suministro, intercambiadores de calor, una temperatura de aproximadamente 80°C.

Los resultados de la evaluación económica revelan que el proyecto presenta una viabilidad hasta un costo de astillas de \$42/kg, esto quiere decir, un VAC positivo siendo la única diferencia el PRI.

### **Proyecto Cogeneración Aserraderos Timberni**

En este proyecto se analiza la posibilidad de adaptar una planta de cogeneración a la existente planta de vapor industrial que Aserraderos Timberni posee y mantiene en servicio para sus procesos productivos que son mayoritariamente de secado de madera. Actualmente, la planta opera con una caldera de 28 ton/h de capacidad de producción de vapor con una presión máxima de servicio de 28,1 kg/cm<sup>2</sup>.

De la capacidad máxima, se emplean 20 ton/h para los procesos de secado de madera quedando 8 ton/h disponibles para otros fines. Por tal motivo y dado que la central térmica cuenta con una turbina de 0,3 MW de potencia se ha evaluado la posibilidad de emplear dicha turbina para la generación de electricidad.

En base a una evaluación técnica se concluye que el consumo anual de biomasa para generar 0,3 MW de potencia eléctrica en el generador es de 1.802 ton/año con una humedad del 50%.

### **Proyecto Pellets Aserraderos Collico**

Aserraderos Collico Limitada es una empresa productora y comercializadora de maderas de *PR*, ubicada en la región de Los Ríos, comuna de San José de la Mariquina. De acuerdo con antecedentes proporcionados por la empresa, en el año 2015 se adquiere una planta de pellets con capacidad de producción 250 kg/h y después de varios meses de puesta a punto, se logra producir pellets de calidad aceptable para el mercado local. La materia prima, que corresponde a virutas, aserrín y polvos secos, se obtenía de la planta de remanufacturas de molduras en *PR* con madera seca en cámara. En 2017 al aumentar la demanda se adquiere una planta para fabricar pellets para calefacción premium con capacidad de 2 ton/h.

La producción actual es de 5.000 kg/día, por lo tanto, la planta funciona menos de 3 h diarias por falta de materia prima apta para la producción de pellets que es básicamente, virutas o aserrín secos con humedad no superior al 12%.

Debido a la alta y creciente demanda de pellets para calefacción en la región de Los Ríos se torna muy interesante y necesaria la adquisición de una unidad de secado de biomasa con capacidad aproximada de 2 ton/h.

Considerando el uso de biomasa con un 50% de humedad para la generación de energía térmica para el proceso de secado, los resultados revelan que la demanda de biomasa húmeda, 50%, es de 666 ton/año para generar una producción 800 kg/h de aserrín seco.

La inversión requerida para el equipamiento del proceso de secado en una unidad de lecho fluidizado, considerando fabricación nacional, se estima en USD 86.338.

#### **Disponibilidad de biomasa para empresas Celco Arauco**

Desde el punto de vista de análisis de esta planta de cogeneración y el interés principal para este estudio es entender la disponibilidad de biomasa residual de la planta. La planta se autoabastece, pero requiere de proveedores externos de todas formas para poder dar abasto a las necesidades de generación. La logística del transporte indicada por la planta presenta que el abastecimiento de externos es viable en un radio de 62 km y a una distancia caminera de 72 km con una distancia máxima de 220 km de la planta. Cuando se compara esta información con los resultados de disponibilidad de biomasa de este estudio, se puede inferir que la disponibilidad para cubrir la demanda del 20%, que equivale a 260 ton/día, se podría cubrir. Existen concentraciones de hasta unas 7.000 TS/año de biomasa residual disponibles para sustentar la demanda de la planta si lo requiriese.

El presente análisis de la planta respecto a sus capacidades y a los resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto demuestran la sinergia que debiera existir entre la gran industria forestal que representa Arauco y las Pymes de la región de Los Ríos. Disponibilidad de biomasa residual existe en la región y sólo se necesita de un compromiso mutuo entre las partes para poder abastecerla cuando esta sea requerida.

#### **Disponibilidad de biomasa para empresa Colún**

Este caso es particular porque la empresa proveedora de la energía posee un modelo de captación de biomasa residual que es básicamente colección de ésta desde los Pymes de las zonas cercanas a la planta bajo un radio de aproximadamente 60 km. La empresa compra bajo condiciones contractuales

de pago mínimo por la biomasa residual y/o, como en algunos casos, se compromete a colectarla de los Pymes que no hacen uso o que prefieren regalar la biomasa según disponibilidad. La disponibilidad de aserraderos y de biomasa que la zona cercana a la planta posee y que es de hasta 5.500 TS/año permiten asegurar la prestación de los servicios de la empresa proveedora de energía.

El presente análisis de la planta y de la empresa proveedora de energía respecto a sus capacidades y a los resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto demuestran la sinergia que puede y que existe entre cualquier industria que requiera energía que en este caso representa Colun y las Pymes de la región de Los Ríos. Disponibilidad de biomasa residual existe en la región y este modelo de negocios prueba y corrobora un proceso de obtención y uso de biomasa residual alternativo y necesario para el desarrollo regional.



# Tercer Informe de Avance

## Introducción

En el presente informe final y a partir de los resultados obtenidos en los informes anteriores, se presenta para la región un modelo de gestión y estrategia de inversión, alineado con el marco normativo regional y nacional, planes institucionales y otras iniciativas del territorio, que permitan la materialización de las iniciativas de inversión de acuerdo con las bases de licitación.

La metodología utilizada, consistió en la recolección de datos en actividades de campo, información primaria, y sistematización de dichos antecedentes. La información recolectada fue tratada básicamente como datos organizados con criterios cuantitativos, de acuerdo con las exigencias de las Bases Técnicas de la consultoría.

De tal forma, se levantó información nueva tanto cuantitativa como cualitativa. La información de campo primaria se obtuvo mediante distintos instrumentos como reuniones con Pymes, entidades gremiales, y entrevistas en profundidad a agentes claves solicitados en las bases.

Por otra parte, se participó en una serie de reuniones/talleres organizadas por la consultoría y se realizó un seminario internacional, con temática relacionada al proyecto el 21 de marzo 2018.

En el primer capítulo, se realiza una evaluación de factibilidad ambiental, en el marco normativo y regulatorio vigente, de las propuestas de proyectos presentados en el segundo informe de avance. En este sentido, se describen los requerimientos básicos de una posible Declaración de Impacto Ambiental, DIA, en las distintas fases y etapas, de un posible proyecto de planta piloto en la región de Los Ríos.

Luego, en los acápites posteriores, se describe una propuesta de estrategia de desarrollo considerando escenarios de implementación y plazos de ejecución, considerando una estructura y modelo de gestión público privado, describiendo etapas y posibles líneas de financiamiento.

Finalmente, se presentan los resultados de la evaluación de proyectos a desarrollar en la región de Los Ríos, realizando una comparación de los distintos proyectos evaluados, en el segundo informe de avance de esta consultoría, con el detalle de una serie de recomendaciones de implementación de iniciativas piloto, entre las cuales se destacan las consideraciones técnicas, de proveedores de equipamiento, de la ubicación de una posible planta piloto, de la logística del suministro de biocombustible y las consideraciones ambientales, económicas y de gestión.

## 14. Evaluación de Factibilidad Ambiental

La evaluación de factibilidad ambiental ha sido considerada para este estudio basado en los proyectos de plantas de calefacción distrital, cogeneración y pelletizado desarrollados y presentados en el segundo informe de avance. La factibilidad ambiental se define como el proceso de evaluación de todos los procesos de desarrollo de una planta y de cómo estos afectan el medioambiente desde sus etapas de diseño, durante la construcción y su posterior operación (SEA, 2018). Algunos factores asociados a una factibilidad ambiental están relacionados con las zonas donde se pretende implementar las plantas, en este caso factores como las características territoriales, históricas, legales, políticas, sociales y culturales deben ser evaluadas aplicando las restricciones respectivas que estos factores pudiesen tener (SEA, 2018).

Los emplazamientos de los proyectos desarrollados en este estudio corresponden a zonas urbanas y rurales de las comunas de Valdivia, Mariquina, Los Lagos y Paillaco, por lo que los alcances de esta evaluación ambiental se han segregado para poder incluir la mayor cantidad de factores pertinentes para una evaluación de factibilidad concordante y precisa. Comúnmente una empresa se encarga de generar políticas de protección ambiental, de seguridad/salud ocupacional y calidad en donde se establecen protocolos a seguir para el correcto servicio y operación de las plantas desarrolladas. Los alcances de este estudio han sido acotados para cubrir los aspectos más relevantes, pero obviando procesos de gestión que no son pertinentes y que complejizan y extienden procesos que debieran, de otra forma, ser expeditos y generales para todos los tipos de proyectos desarrollados, por ejemplo, tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos y sólidos, riles y rises respectivamente. Para el caso de las plantas desarrolladas no se considera ningún equipo que opere con flujos constantes de agua que pudiese ser obtenida de fuentes hidrológicas en las zonas seleccionadas para sus emplazamientos por lo que estos factores de evaluación son limitados y solo referenciados con la normativa vigente.

### 14.1 Evaluación del Marco Normativo y Regulatorio Vigente.

En nuestro país, el marco normativo y regulatorio vigente para la implementación de plantas de calefacción distrital, cogeneración y pelletizado son las siguientes:



**Norma Chilena ISO 14.001**, Sistemas de Gestión Ambiental – Requisitos con Orientación para su uso del 2005 y actualizada el año 2015. Esta norma internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión ambiental que una organización puede usar para mejorar su desempeño ambiental que busca gestionar sus responsabilidades ambientales de una forma sistemática que contribuya al pilar ambiental de la sostenibilidad. Los resultados previstos de un sistema de gestión ambiental incluyen: mejora del desempeño ambiental, el cumplimiento de los requisitos legales y otros requisitos y el logro de los objetivos ambientales. Se aplica a los aspectos ambientales de las actividades, productos y servicios que los proyectos puedan controlar y/o influir en ellos, considerando una perspectiva de ciclo de vida. Esta Norma Internacional no son aceptables a menos que todos los requisitos estén incorporados en el sistema de gestión ambiental de una organización, y que se cumplan sin exclusiones (INN, 2015b).

**Ley N°19.300**, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Esta Ley establece el marco regulatorio del derecho a vivir en; un ambiente libre de contaminación, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. Esta Ley es particularmente atinente ya que establece y regula los instrumentos de gestión ambiental como; La Evaluación Ambiental Estratégica, el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental y el Acceso a la Información Ambiental, la Responsabilidad por Daño Ambiental, la Fiscalización y el Fondo de Protección Ambiental y por último la Institucionalidad Ambiental de Chile (BCN, 1994). Estos instrumentos son esenciales para poder desarrollar los diferentes proyectos considerados en este estudio, en especial el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, SEIA. Esta ley fue promulgada el año 1994 por lo que ha sufrido modificaciones, las cuales han sido reflejadas en la nueva Ley N°20.417 descrita a continuación, sin embargo, la Ley N°19.300 sigue aplicándose y su última modificación fue efectuada en diciembre del 2017 (BCN, 2010).

**Ley N°20.417**, Crea el Ministerio, el servicio de evaluación ambiental y la superintendencia del medio ambiente. Esta Ley introduce modificaciones a la Ley N°19.300 respecto a los procesos y procedimientos de evaluación de los impactos medioambientales de proyectos de diversas áreas. Estos son introducidos para dar un alcance más global a lo que se consideraría podría impactar el medio ambiente con la previa Ley (BCN, 2010). En este contexto, esta Ley agrega consideraciones específicas a la sinergia que se puede generar cuando proyectos como los de cogeneración son introducidos.

Esta Ley fue promulgada en junio del 2012 por lo que ha sufrido modificaciones de acuerdo con los nuevos alcances de proyectos tan diversos, ya sea por su génesis como también por sus posibles impactos. La última modificación a esta Ley fue en junio del 2012 como parte de una nueva Ley, la

Ley N°20.600. Esta nueva Ley crea los tribunales ambientales que resuelven controversias medioambientales que pudiesen surgir de las declaraciones y estudios de impacto ambiental (BCN, 2012). A su vez, esta Ley sufrió modificaciones que han sido reflejadas en una nueva, la Ley N°20.880 que, establece la probidad en la función pública y prevención de los conflictos de intereses por parte de los impartidores de la Ley (BCN, 2016b). Esta ley ha sufrido modificaciones, reflejadas en la nueva Ley N°21.073 pero que no es atinente al desarrollo de los proyectos considerados en este estudio.

Como se ha podido apreciar la normativa no es específica a los diversos proyectos considerados en este estudio, más bien es un desarrollo de los proyectos donde atingencias se deben asociar a la normativa, dicha atingencia reflejada en la elaboración y presentación por parte de los proyectos a un estudio o a una declaración de impacto ambiental. A través de la Corporación Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, se establecían los protocolos a cumplir para calificar dentro del SEIA, sin embargo, como fue presentado previamente, de acuerdo con la nueva normativa, Ley N°20.417 el Ministerio del Medio Ambiente se hace responsable de llegar a cabo estas funciones (BCN, 2010). Cualquier planta asociada a biomasa residual debe cumplir con los principios de gestión ambiental definidos por la Norma Chilena NCh ISO 14.001 (INN, 2015b) y las leyes presentadas previamente.

Para calificar dentro del SEIA, los proyectos deben presentar un estudio o una declaración de impacto ambiental (SEA, 2018). La diferencia entre ambos es una inclusión o exclusión de antecedentes y de los posibles impactos de estos, así como también las capacidades de las plantas de los proyectos. Un estudio, por ejemplo, incluye aspectos tan profundos como;

- ) Los riesgos asociados para la salud de la población que rodea a las plantas, así como también como el establecimiento de está afecta la calidad de los efluentes, la cantidad de emisiones y residuos que se generan.
- ) La magnitud de los efectos de las plantas sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables que son usados para su servicio que incluye además el suelo, las aguas y el aire.
- ) Aspectos sociales como el asentamiento de comunidades y como las plantas, desde su génesis hasta su operación afectan los sistemas de vida y costumbres de las comunidades.
- ) Ubicación, que considera el impacto de áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación como lo son los humedales incluyendo el valor ambiental del territorio en que se pretende implementar la planta.
- ) Alteración significativa del entorno donde se pretende emplazar la planta incluyendo las capacidades turísticas de esta.

J Alteración al patrimonio cultural de la zona donde la planta se emplazará.

Estos aspectos son fundamentales y requieren de un proceso de evaluación profundo, específico para cada proyecto y sus respectivas locaciones y posibles impactos. Considerando los alcances de los proyectos desarrollados en este estudio y que fueron presentados previamente. La Tabla 90 presenta una compilación de la aplicabilidad de las leyes y procesos atinentes para su comprensión.

Proyecto	Norma Chilena ISO 14.001	Ley N°19.300	Ley N°20.417	SEIA EIA	SEIA DIA	Decreto N°12
<b>Calefacción Distrital Campus Teja UACH</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH</b>	Si	Si	Si	Si	Si	Si
<b>Planta Cogeneración Aserraderos Timbarni S.A.</b>	Si	Si	Si	No	Si	Si
<b>Planta de Fabricación de Pellets Comuna de Los Lagos</b>	Si	Si	Si	No	Si	Si
<b>Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico</b>	Si	Si	Si	No	Si	Si

Tabla 90 Proyectos y normativa a aplicar

Se ha podido comprobar que independiente del marco normativo al cual los diferentes proyectos pueden y deben ser sometidos, este marco ha ido evolucionando para incluir la pertinencia que el desarrollo tecnológico de los proyectos ha manifestado. Por ejemplo, para el caso del control de emisiones de GEI y MP, se ha fijado un impuesto anual a beneficio fiscal que grava las emisiones al aire de estas por parte de los equipos fundamentales de las plantas, siendo los casos de las calderas las que pudiesen ser sometidas a este gravamen, esto dependiendo de las potencias instaladas para su servicio. Esta reforma tributaria forma parte de la Ley N°20.780 (BCN, 2014) que ha sido modificada y optimizada a través de la Ley N°20.899 (BCN, 2016c).

**El Decreto N°12**, que establece la Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP 2.5, regula la cantidad de contaminantes en el medio ambiente para prevenir, de acuerdo con sus niveles, concentraciones y periodos, el riesgo para la salud de las personas (BCN, 2011). El MP 2.5 es uno de los más nocivos para la salud de las personas ya que afecta a los pulmones y alvéolos del sistema respiratorio, es considerado como la parte ligera del MP 10 por lo que esta norma entra a regular el MP fino que la norma previa no considerada. El MP 2.5 se produce por emisiones directas de los procesos de combustión de biomasa, a partir de la condensación de gases, de reacciones químicas en la atmósfera a partir de otros gases como el SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, compuestos orgánicos y amoníaco (BCN, 2011).

La Superintendencia de Medio Ambiente se encarga de calificar las estaciones de monitoreo de MP respirable. El proceso de calificación es una determinación si la estación de monitoreo es de propiedad pública o privada y si su origen está basado en política pública o en una evaluación ambiental. Las estaciones están ubicadas en las comunas de Lago Ranco, La Unión, Mafil y Valdivia. Las estaciones en las comunas de Mafil y Valdivia son pertinentes para los proyectos de este estudio. Estas estaciones monitorean; MP 2.5, MP 10, dióxido de azufre,  $\text{SO}_2$ , dióxido de nitrógeno,  $\text{NO}_2$ , óxidos de nitrógeno,  $\text{NO}_x$ , monóxido de nitrógeno,  $\text{NO}$ , monóxido de carbono,  $\text{CO}$  y ozono,  $\text{O}_3$ . Todas estas emisiones se generan a partir del consumo de combustibles fósiles y biocombustibles de biomasa. Leyes y normativas para cada una de estas emisiones se han fijado para controlarlas y disminuirlas. El sistema de información nacional de calidad del aire que, forma parte del Ministerio del Medio Ambiente, se encarga del catastro y documentación de estas emisiones para su análisis y posterior aplicación de planes de acción para su abatimiento (SINCA, 2018). La comuna de Valdivia está dentro de los planes de acción a través del Decreto 25 donde se establece un plan de descontaminación atmosférica (BCN, 2016a) y en donde se establecen especificaciones respecto a sistemas que generen ciertas cantidades de MP al año lo que es pertinente de incluir para los casos desarrollados en este estudio.

Desde el punto de vista de los proyectos desarrollados, la mejor forma de poder abatir estos GEI y MP es logrando que los procesos de combustión de calderas, hornos y turbinas sean lo más eficientes posible (KWB, 2018), sin embargo, la generación de estos gases no se puede evitar al ser el carbono, el azufre y otros compuestos, partes fundamentales de estos. Procesos de abatimiento antes de la combustión, durante la combustión y después de la combustión son comunes para el consumo de combustibles fósiles y biomásicos para mitigar la generación y controlarlas eficientemente. Los combustibles fósiles han sido considerados para las partidas de los equipos y en el caso de las plantas de calefacción distrital para el servicio en los periodos de alta demanda. La generación de GEI y MP a partir de combustibles fósiles propicia el uso de tecnologías complejas y de un alto costo que hacen aumentar el PRI de los proyectos, como se presentó en sección previa. Desde esta perspectiva se deben considerar las normas de emisión que miden la concentración de emisiones desde la fuente y las normas de calidad que miden la concentración de emisiones en el ambiente que está afectado por estas para determinar cuál tecnología es la más apropiada a aplicar a los proyectos para reducir la generación y/o eliminarla de los residuales de los procesos de combustión.

El MP es la mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendida en el aire. El MP 2.5 es el material particulado fino que forma parte de los gases de la combustión de combustibles fósiles y biomásicos siendo el complemento del material particulado grueso que constituye el MP 10 (SINCA, 2018). Este

MP se emite desde fuentes tan diversas como procesos industriales de la minería, construcción de obras civiles y remoción de materiales.

En la actualidad existen planes de descontaminación por MP 2.5 pero están enfocados al incorporar el recambio de calefactores domésticos que consumen leña siendo esta una de las mayores generadoras de MP 2.5. Este plan se está llevando a cabo actualmente en la región de Aysén sin noticias ni antecedentes de cuando se volverá a ejecutar en la región de Los Ríos (Ministerio del Medio Ambiente, 2014).

El análisis del marco normativo de la calidad ambiental que se debe aplicar para el desarrollo de los proyectos contenidos en este estudio demuestra que se deben clasificar de acuerdo con el impacto de estos de acuerdo con la zona geográfica y al impacto de sus procesos, desde las etapas de construcción y posterior operación considerando además su ciclo de vida. Normas primarias y secundarias son las relacionadas con el desarrollo de la DIA y EIA por lo que el desarrollo de esta sección se basará en los requerimientos de estos para con los proyectos desarrollados. Normas primarias son aquellas que fijan estándares para aquellos factores que impacten la salud de la población en forma directa y normas secundarias son aquellas que fijan estándares para aquellos factores que impacten la protección del medio ambiente. A continuación, la Tabla 91 presenta una lista de otros decretos y resolución posibles de aplicar para el desarrollo de los proyectos (BCN, 2018).

Decretos y Resolución	Aplicabilidad
<b>Decreto Supremo N°144/1961, Ministerio de Salud. Normas para Evitar Emanaciones o Contaminantes Atmosféricos de Cualquier Naturaleza</b>	Etapas de construcción y operación de las plantas.
<b>Decreto Supremo N°138/2005, Ministerio de Salud. Establece Obligación de Declarar Emisiones que Indica.</b>	Etapas de construcción y operación de las plantas.
<b>Resolución Exenta N°884/2012, Superintendencia del Medio Ambiente, respecto a reporte de compromisos ambientales.</b>	Etapas de construcción y operación de las plantas.

Tabla 91 Otros decretos y resoluciones aplicables

## 14.2 Declaración de Impacto Ambiental

Para la evaluación de factibilidad ambiental se ha decidido elaborar el procedimiento estándar que se debe llevar a cabo para una declaración de impacto ambiental. Este procedimiento engloba todos los aspectos necesarios para poder comprender el verdadero impacto que las plantas de los proyectos desarrollados generan en las comunas donde se han emplazado, que como se mencionó anteriormente corresponde a zonas urbanas y rurales de las comunas de Valdivia, Paillaco, San José de la Mariquina y Los Lagos.

Los aspectos más importantes son:

- J Descripción del Proyecto, que considera descripción de los antecedentes generales, descripción más detallada, descripción de equipamiento, acciones y obras civiles, una descripción de la fase de construcción, de la fase de operación y de la fase de abandono.
- Descripción de los Antecedentes Generales incluye: nombre, los objetivos, tipología de ingreso al SEIA, costos, ciclo de vida, mano de obra requerida, cronograma de actividades, inicios de las obras y la localización como los más importantes.
  - Descripción Detallada del Proyecto incluye información pertinente no manifestada en descripción general.
  - Descripción de Equipamiento, Acciones y Obras Civiles que incluyen: equipamiento principal, equipamiento auxiliar, obras civiles de alojamiento del equipamiento principal, auxiliar, sistemas de control y electricidad, administración, comedores, mantenimiento y servicios sanitarios.
  - Descripción de la Fase de Construcción que incluye: selección y preparación de los terrenos de emplazamiento, construcción de caminos y urbanización, fundaciones, construcción de obras civiles mencionadas previamente, montaje electromecánico de los componentes principales y auxiliares y sistema de transporte.
  - Descripción de la Fase de Operación que incluye: balance energético del biocombustible a usar, balance de requerimientos y biocombustible, sistema de transporte del biocombustible y servicios fundamentales del personal.
  - Descripción de la Fase de Abandono que incluye: desarrollo de plan de cierre y abandono que se debe presentar con al menos 2 años de antelación.

Durante las fases de construcción, operación y abandono se llevan a cabo estudios de control y abatimiento de emisiones tales como; ruido, energía, emisiones de contaminantes a la atmosfera, riles y rises.

De acuerdo con esto, esta sección se ha desarrollado incluyendo los aspectos más importantes y atingentes a cada uno de los proyectos desarrollados y serán presentados en tablas para un ordenamiento y practicidad ya que desarrollar una DIA de cada uno de estos requerirá estudios detallados y fuera del alcance de este estudio, sin embargo, información detallada se ha incluido de acuerdo con la atingencia y del estado actual de la normativa.

#### **14.2.1 Descripción de los Antecedentes Generales**

Esta etapa ha sido elaborada con los detalles generales de los proyectos desarrollados y presentado en la sección previa. La Tabla 92 presenta los antecedentes más relevantes a considerar en la primera sección de la DIA.



Nombre Proyectos	Objetivo	Ingreso SEIA	Costos	Ciclo de Vida	Localización
<b>Calefacción Distrital Campus Teja UACH</b>	Reemplazar el consumo de combustibles fósiles con un sistema más sustentable.	EIA	USD 1.400.000	20 años	Comuna Valdivia, Campus Isla Teja, Sector Isla Teja
<b>Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH</b>	Reemplazar el consumo de combustibles fósiles con un sistema más sustentable.	EIA	USD 352.000	20 años	Comuna Valdivia, Campus Miraflores, Sector Regional
<b>Planta Cogeneración Aserraderos Timberni S.A.</b>	Optimizar el equipamiento existente y aumentar niveles de producción.	DIA	USD 77.000	10 años	Comuna Paillaco, Ruta T-206 km 207, Paillaco
<b>Planta de Fabricación de Pellets Comuna de Los Lagos</b>	Suplir la creciente demanda por producto y aprovechar la disponibilidad de biomasa en la región de Los Ríos.	DIA	USD 358.000	20 años	Comuna de Los Lagos, Sector por definir
<b>Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico</b>	Aumentar la producción para cubrir la demanda por producto en la región de Los Ríos	DIA	USD 86.338	20 años	Comuna de San José de la Mariquina, Parcela 9 y 10, Sector Pufudi s/n

Tabla 92 Antecedentes generales de proyectos desarrollados

La mano de obra para la operación de las plantas de los proyectos desarrollados en este estudio, ha sido tabulada de acuerdo con la Tabla 93 y se han asumido como condiciones ideales para la evaluación económica de estos y que fue presentada en la sección previa del presente estudio.

Proyecto	Mano de Obra – Operador/Controlador/Mantenición		
	Caldera	Turbina	Pelletizadora
<b>Calefacción Distrital Campus Teja UACH</b>	1 calderero calificado por el Servicio de Salud (SEREMI, 2018).	No aplica	No aplica
<b>Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH</b>	1 calderero calificado por el Servicio de Salud (SEREMI, 2018).	No aplica	No aplica
<b>Planta Cogeneración Aserraderos Timberni S.A.</b>	1 calderero calificado por el Servicio de Salud (SEREMI, 2018).	1 operador y controlador de servicio.	Inspección y mantenimiento preventivo.
<b>Planta de Fabricación de Pellets Comuna de Los Lagos</b>	No aplica	No aplica	1 ingeniero o técnico mecánico como operador y controlador de servicio.
<b>Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico</b>	No aplica	No aplica	1 ingeniero o técnico mecánico como operador y controlador de servicio.

Tabla 93 Mano de obra especializada requerida

Independiente de la mano de obra especializada presentada en la Tabla 93, se necesita personal no calificado para la operación general de los diferentes procesos de las plantas, por ejemplo, personal para los procesos de suministro, acopio, astillado, limpieza y servicio de la planta. Este personal no ha sido considerado con grado de especialización ya que solo incluye servicios generales, sin desmedro de las capacitaciones e inducciones que la empresa pueda necesitar y demandar para este personal. Los procesos de inspección y mantenimiento preventivo de la planta debieran ser llevados a cabo por los profesionales a cargo con ayudantes que debieran poseer grados técnicos al menos. En general las empresas asociadas a las plantas deben contar con planes de servicio y mantención acordes con las políticas de desarrollo de estas por lo que se puede esperar tener más personal calificado para la operación y servicio de las plantas sin desmedro de lo cuantificado en este estudio que debiera considerarse como los mínimos para asegurar el servicio continuo y fuera de fallas de las plantas.

Los planes de servicio y mantención debieran también considerar las necesidades de turnos de operación. Para los casos de las plantas de calefacción distrital consideraría dos turnos que asegurarían un servicio acorde a las inusuales horas de entrada y de salida de los lugares de trabajo, entre las 6 am y las 10 pm y para los casos de las plantas de cogeneración y pelletización tres turnos, lo que se debe principalmente a la necesidad de una constante generación de electricidad para el caso de la planta de cogeneración y a un alza en la demanda de pellets que hace necesario una alta producción (Segura, 2017).

El cronograma de actividades y los inicios de las obras son aspectos fuera del alcance de este estudio por lo que su desarrollo ha sido omitido, sin embargo, si existiera la voluntad de llevar a cabo alguno de los proyectos desarrollados, estos aspectos serán considerados como parte de un desarrollo de ingeniería de detalle para poder obtener la precisión necesario en su consideración y evaluación dentro de la DIA.

#### **14.2.2 Descripción Detallada del Proyecto**

Esta información fue presentada en la sección previa de este estudio y considera detalles suficientes para poder evaluar la prefactibilidad económica y medioambiental de los proyectos desarrollados. Información pertinente de las plantas es presentada en la Tabla 94.

Proyectos	Descripción
<b>Calefacción Distrital Campus Teja UACH</b>	Esta planta está ubicada en sector estratégico dentro del Campus Teja que permite abastecer de calor a una superficie aproximada de 34.000 m <sup>2</sup> . El periodo de operación es entre abril y noviembre y ha considerado el equipamiento bajo estándares europeos de última generación lo que contribuye a altos grados de eficiencia y control/abatimiento de emisiones y cenizas. La potencia instalada es aproximadamente de 1.7 MW.
<b>Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH</b>	Esta planta está ubicada en sector estratégico dentro del Campus Miraflores que permite abastecer de calor a una superficie aproximada de 11.000 m <sup>2</sup> . El periodo de operación es entre abril y noviembre y ha considerado el equipamiento bajo estándares europeos de última generación lo que contribuye a altos grados de eficiencia y control/abatimiento de emisiones y ceniza. La potencia instalada es aproximadamente de 0.5 MW.
<b>Planta Cogeneración Aserraderos Timberni S.A.</b>	Esta planta cuenta con una turbina generadora pero fuera de servicio por lo que su desarrollo consiste en poder ponerla en servicio para apalea los altos consumos energéticos del aserradero. La potencia de la turbina generadora es de 0.3 MW
<b>Planta de Fabricación de Pellets Comuna de Los Lagos</b>	Esta planta de mediana capacidad ha sido desarrollada para producir 2 ton/h de pellet de alta calidad operando 3 turnos diarios. Emplazada estratégicamente en la comuna de Los Lagos ya que la disponibilidad de biomasa en la zona fue evaluada como la óptima considerando bosques y aserraderos fijos y móviles que proveerían de materia prima para producción.
<b>Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico</b>	Esta planta de mediana capacidad no cuenta con un sistema de secado de materia prima lo que no permite su funcionamiento a máxima capacidad que pudiese llegar a las 2.8 ton/h. El sistema de secado considera la instalación de un secador de lecho fluidizado que consumiría biomasa residual como combustible. La evaluación demuestra que la optimización es viable y permitiría aumentar la producción para cubrir la alta demanda actual por pellet de alta calidad.

Tabla 94 Descripción de proyectos

#### 14.2.3 Descripción de Equipamiento Principal, Acciones y Obras Civiles

Esta descripción corresponde a los aspectos específicos de las plantas consideradas en este estudio, las cuales han sido segregadas para incluir la mayor cantidad de detalles para su comprensión y alcances. Las acciones consideradas se han justificado de acuerdo con los procesos de desarrollo y construcción de proyectos evaluados previamente por el equipo de trabajo, Tabla 95 presenta la descripción de estos equipamientos.

Nombre Proyectos	Equipamiento
<b>Calefacción Distrital Campus Teja UACH</b>	Sistema generación de calor, caldera. Sistema de alimentación de biocombustible. Sistema de monitoreo emisiones. Sistema de abatimiento de emisiones. Sistema de recolección de cenizas. Sistema de distribución de ACS. Sistema de control y electricidad. Sistema de tratamiento de risas y riles.
<b>Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH</b>	Sistema generación de calor, caldera. Sistema de alimentación de biocombustible. Sistema de monitoreo emisiones. Sistema de abatimiento de emisiones. Sistema de recolección de cenizas. Sistema de distribución de ACS. Sistema de control y electricidad. Sistema de tratamiento de risas y riles.
<b>Planta Cogeneración Aserraderos Timberni S.A.<sup>27</sup></b>	Sistema turbina generadora. Sistema de condensación y enfriamiento. Sistema de monitoreo emisiones. Sistema de abatimiento de emisiones. Sistema de control y electricidad. Sistema de tratamiento de risas y riles.
<b>Planta de Fabricación de Pellets Comuna de Los Lagos</b>	Sistema de alimentación de materia prima. Sistema de secado de materia prima. Sistema de limpieza. Sistema pelletizadora. Sistema de enfriamiento. Sistema de empaquetado y almacenamiento. Sistema de control y electricidad. Sistema de tratamiento de risas y riles.
<b>Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico</b>	Sistema de secado de materia prima. Sistema de limpieza. Sistema de enfriamiento. Sistema de control y electricidad. Sistema de tratamiento de risas y riles.

Tabla 95 Descripción del equipamiento principal y auxiliar de las plantas

Para el caso del desarrollo de las acciones que se requieren para la DIA, están asociadas a la descripción de las obras a realizar para completar las fases de construcción de los proyectos. Las acciones incluyen la información pertinente de la fase de construcción y de los sistemas principales y auxiliares de las plantas. La Tabla 96 presenta la descripción de las obras civiles más importantes de las respectivas plantas.

<sup>27</sup> El sistema de generación de vapor se ha omitido de esta descripción al ser preexistente. Para efectos del desarrollo de la DIA oficial del proyecto se debiera incluir y especificar detalladamente esta información.

Nombre Proyectos	Obras Civiles
<b>Calefacción Distrital Campus Teja UACH</b>	Silos de acopio y distribución de biomasa. Alojamiento equipamiento principal. Alojamiento equipamiento auxiliar. <sup>28</sup> Sala de control. Sala eléctrica. Paños de mantención. Alojamiento y tratamiento de riles y riles. Servicios sanitarios.
<b>Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH</b>	Sistema acopio y distribución de biomasa. Alojamiento equipamiento principal. Alojamiento equipamiento auxiliar. Sala de control. Sala eléctrica. Paños de mantención. Alojamiento y tratamiento de riles y riles. Servicios sanitarios.
<b>Planta Cogeneración Aserraderos Timberni S.A.</b>	Optimización alojamientos existentes. Optimización de sala de control. Optimización de sala eléctrica. Optimización de paños de mantención.
<b>Planta de Fabricación de Pellets Comuna de Los Lagos</b>	Sistema acopio y distribución de biomasa. Alojamiento equipamiento principal. Alojamiento equipamiento auxiliar. Sala de control. Sala eléctrica. Paños de mantención. Alojamiento y tratamiento de riles y riles. Oficinas administrativas. Comedores. Servicios sanitarios.
<b>Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico</b>	Optimización alojamientos existes. Alojamiento equipamiento auxiliar. Optimización de sala de control. Optimización de sala eléctrica. Optimización de paños de mantención.

Tabla 96 Descripción de las obras civiles de las plantas

#### 14.2.3.1 Evaluación del Tratamiento y Disposición de Riles y Rises

Segregando los proyectos, se ha identificado la necesidad de considerar la evaluación del tratamiento y disposición de riles y rises. Riles implica el tratamiento de residuos líquidos industriales que para algunos proyectos es atingente, para el caso de rises, que considera los residuos sólidos industriales también ha sido considerado de esta forma. La Tabla 97 presenta las características más importantes de la evaluación del tratamiento y disposición de estos. Cabe mencionar que la Superintendencia de

<sup>28</sup> Incluye los sistemas de distribución y retorno de ACS.

Servicios Sanitarios, SISS, está encargada de controlar y fiscalizar los planes y procesos del tratamiento y disposición de riles y rises. El SISS también está encargado de extender los permisos y autorizaciones sanitarias para los manejos de las sustancias peligrosas y no peligrosas que necesiten un manejo particular dentro de las plantas (SEREMI, 2018). Para los casos estudiados solo se ha considerado indicios de residuos peligrosos, ya sea en etapas de manejo, etapas de proceso y posteriores a estos con residuos de pintura y químicos industriales para limpieza. Para el caso específico de los gases de exhaustación que se generan en el proceso de combustión, en donde se encuentran los GEI y MP, estos no se han considerado como parte de los rises ya que su normativa y control depende de otros estamentos (Ministerio del Medio Ambiente, 2013), los que se desarrollaran posteriormente.

Residuos inherentes a los procesos industriales asociados a las plantas entran en el proceso de ser considerados riles y rises y serán controlados bajo planes de manejo acordes. Residuos incluye; basuras, desechos sanitarios, productos químicos de limpieza, plásticos, cartones, metales y plásticos como los más comunes (SEREMI, 2018). Estos residuos no han sido incluidos en el desarrollo de los proyectos ya que son generales a cualquier proyecto afecto a EIA y DIA y los respectivos permisos sanitarios del SISS. Distintos planes de manejo se deben desarrollar para los residuos de las plantas, pero en general deben considerar estas etapas; identificación y caracterización, almacenamiento, recolección y transporte, tratamiento y la disposición final. El Decreto Supremo N°148 Reglamento Sanitario Sobre Manejo de Residuos Peligrosos y el Decreto Supremo N°594 Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo son aplicables (BCN, 2011; SEREMI, 2018).

Proyectos	Evaluación del Tratamiento y Disposición	
	RILES	RISES
<b>Calefacción Distrital Campus Teja UACH</b>	Agua de relleno para mantención niveles ACS.	Acopio y tratamiento de cenizas. Abatimiento de GEI y MP.
<b>Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH</b>	Agua de relleno para mantención niveles de ACS.	Acopio y tratamiento de cenizas. Abatimiento de GEI y MP.
<b>Planta Cogeneración Aserraderos Timberni S.A.</b>	Agua de relleno para generación de vapor. Agua etapa de condensación.	Acopio y tratamiento de cenizas. Abatimiento de GEI y MP.
<b>Planta de Fabricación de Pellets Comuna de Los Lagos</b>	Agua de sistema de refrigeración.	Acopio y tratamiento de cenizas. Abatimiento de GEI y MP.
<b>Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico</b>	Agua de sistema de refrigeración.	Acopio y tratamiento de cenizas. Abatimiento de GEI y MP.

Tabla 97 Evaluación de RILES y RISES

### Plantas de Calefacción Distrital

Para el caso de riles, el proceso de desplazamiento y almacenamiento del ACS puede generar pérdidas de agua que debe reponerse continuamente. El tratamiento de esta agua implica procesos de eliminación de minerales ya que estos afectan la eficiencia de la caldera y de los estanques inerciales de almacenamiento. Por lo general el tratamiento es a través del uso de filtros que pueden ser descargados vía alcantarillado. No existe riesgo de contaminación del agua por lo que, para su descarga al sistema de alcantarillado, en etapas de mantención de la caldera y de los estanques inerciales, solo se debe controlar su temperatura. Las temperaturas de operación de las plantas de calefacción distrital son entre los 80°C y 85°C, por lo que su control se efectúa en la etapa de descarga en donde se espera hasta que el agua se enfríe. Si bien el agua no es considerada como un residuo industrial, el control de su temperatura de descarga permite asumir un plan de control de esta como un ril.

Para el caso de rises, el proceso de combustión de la biomasa residual genera cenizas, estas son y deben ser almacenadas para su posterior eliminación. Sin embargo, este residuo sólido puede ser considerado como materia prima para otros usos como, por ejemplo, fertilizante de suelos y como materia prima para la generación de material de relleno asfáltico. Otros residuos sólidos como metales y piedras provenientes de los procesos de acopio y transporte de la biomasa residual son considerados pero su control no implica más que su recolección y eliminación vía planes de acopio y reciclaje cuando corresponda y sea posible.

### **Planta de Cogeneración**

Para el caso de riles, el proceso de generación de vapor puede generar pérdidas de agua que debe reponerse continuamente. El tratamiento de esta agua implica procesos de eliminación de minerales ya que estos afectan la eficiencia de la caldera. Por lo general el tratamiento es a través del uso de filtros que pueden ser descargados vía alcantarillado. No existe riesgo de contaminación del agua por lo que, para su descarga al sistema de alcantarillado, en etapas de mantención de la caldera, solo se debe controlar su temperatura. Un control más riguroso de las temperaturas de trabajo de los sistemas de condensación y enfriamiento se debe llevar a cabo ya que el vapor de mediana presión que se genera está a temperaturas relativamente altas que pueden implicar una perturbación del ecosistema hidrológico sino se controla apropiadamente. Si bien el agua no es considerada como un residuo industrial, el control de su temperatura de descarga permite asumir un plan de control de esta como un ril.



Para el caso de rises, se aplican los mismos procesos descritos para las plantas de calefacción distrital. En ambos casos considerando la proporción de los equipos a usar de acuerdo con las potencias instaladas de estas.

### **Plantas de Pelletización**

Las plantas de pelletización, como se pudo apreciar en la Tabla 97, utiliza agua para procesos de enfriamiento de la planta. Esta agua necesita volver a sus fuentes o al alcantarillado a temperaturas que no las afecten, por lo general esto se logra usando intercambiadores de calor y/o sistemas de ventilación forzada con aire dependiendo de las temperaturas de trabajo de la planta y del agua de enfriamiento.

#### **14.2.3.2 Análisis de las Emisiones y su Abatimiento**

Las emisiones que los diferentes proyectos desarrollados en este estudio generan están marcados por varias condiciones durante las etapas de construcción y posterior operación.

- ) El uso de astilla como biocombustible.
- ) El reemplazo de combustibles fósiles por astilla.
- ) El uso de calderas de alta eficiencia.
- ) Generación de ruido.
- ) Consumos energéticos.

De acuerdo con los planes de control y abatimiento de emisiones es necesario tener un registro de estas. Lo que se lleva a cabo con un Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC, que es una base de datos de las emisiones con potencial de dañar a la salud de las personas y al medioambiente. Como debe formar parte de los planes de control y abatimiento, debe poder coleccionar información continuamente en forma digital y usando métodos de estimación como balances de los consumos energéticos que generaron las emisiones considerando las diferentes etapas de desarrollo de estos.

### **Etapas de Construcción**

Durante la etapa de construcción de los diferentes proyectos desarrollados en este estudio, las emisiones están condicionadas por procesos generales tales como construcción de obras civiles de alojamiento de los diferentes equipamientos de las plantas, galpones industriales, salas eléctricas y de control, instalaciones sanitarias, comedores, colectores de residuos domiciliarios, servicio continuo de maquinaria industrial, etc. Estos procesos generan un impacto acústico que será evaluado, medido y

abatido para poder dar cumplimiento a la normativa del SEIA. Las mayores emisiones son del tipo acústica, MP 10 y residuos industriales del servicio continuo de maquinaria y operadores, rises mayoritariamente. Para el control del MP 10 y rises, se elaborarán planes de manejo donde se consideran además opciones de reciclaje y manejo de residuos peligrosos como los más importantes. El MP 10 corresponde a polvo que se suspende por efecto del tránsito y movimiento de maquinaria y material de construcción.

La energía eléctrica necesaria para esta etapa provendrá del SEN y se aportará con plantas generadoras o grupos electrógenos independientes si fuese necesario. El control de las emisiones de estas plantas viene controlado desde origen por lo que solo se debiera disponer de un plan de abatimiento en caso de derrames de combustible y/o aceite de lubricación

### **Etapa de Operación**

Durante la etapa de operación, el mayor impacto en cuanto a emisiones proviene de los gases de combustión por el consumo continuo de biocombustible astilla. Las emisiones son mayoritariamente CO<sub>2</sub><sup>29</sup>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, MP 10 y MP 2.5. La cantidad de biomasa que consuman las calderas determinará la cantidad de emisiones que se generaran, el balance energético del uso de este biocombustible fue desarrollado y presentado en la sección previa. Como estas emisiones no pueden evitarse, se deben fijar opciones para su abatimiento, las opciones industriales más comunes son el uso de multi ciclones o torres de limpieza, scrubbers, filtros de manga, reducción usando catalizadores, recirculación de gases de combustión, lavadoras Venturi, precipitadores electrostáticos y filtros vivos pero su determinación dependerá de las cantidades de gases de combustión generados continuamente. Estas tecnologías han demostrado los más altos niveles de eficiencia para eliminar el MP 2.5 cuando este es generado por el consumo de biocombustible astilla. Algunas de estas tecnologías serán presentadas posteriormente.

Respecto a las emisiones acústicas, están son inherentes a la operación de la maquinaria, pero un plan de abatimiento debe existir y formar parte del plan de manejo y operación de la planta. La energía eléctrica necesaria para la operación de la planta debiera ser suministrada vía SEN sin desmedro de las opciones de autogeneración en caso de ser necesario para las plantas distritales y de pelletización. Para

---

<sup>29</sup> Neutro en términos de CO<sub>2</sub>. La cantidad de CO<sub>2</sub> que se genera de la combustión de biomasa astilla corresponde a la misma cantidad que el árbol, desde donde se obtuvo la biomasa, absorbió de la atmósfera.

el caso particular de la planta de cogeneración, el suministro desde el SEN será parcial y para complementar lo que la propia planta generará para autoconsumo.

Las cenizas que genera el proceso de combustión de biomasa astilla, como se mencionó anteriormente puede ser considerada como rises, pero para efectos de este estudio ha sido considerada primeramente como un subproducto de ser aprovechable para otros usos como es la generación de material de relleno asfáltico. El proceso de captación de cenizas es particular de cada caldera, pero por lo general se utiliza parrillas que permiten una extracción vía elementos mecánicos manuales y/o automáticos. Para el caso de las calderas seleccionadas en los proyectos, la extracción de ceniza es un proceso mecánico pero automatizado.

### **Análisis del Abatimiento de Emisiones:**

Como se mencionó previamente, las emisiones de los gases de la combustión son los que más se generan y por lo tanto son objeto de un análisis más robusto para poder entender y desarrollar planes para su abatimiento. Las estaciones de medición de la calidad de aire son el punto de partida para determinar si las cantidades de emisiones que generaran los proyectos son lo suficiente altas para poder generar un plan de monitoreo y de prevención o un plan de control y descontaminación. Para el caso de prevención, se definen e implementan medidas específicas para evitar superar las normas de calidad ambiental en la zona geográfica de emplazamiento de la planta por lo tanto una modelación de la posible cantidad de emisiones que generara la operación de la planta es necesario. La modelación se puede hacer a través de métodos empíricos o usando software apropiados. De todas formas, ambas opciones son aceptadas dentro de la DIA (SEA, 2018).

Para el caso de descontaminación, se definen e implementan medidas específicas tendientes a recuperar los niveles de la calidad del aire que se establecen en las normas de calidad ambiental en la zona geográfica de emplazamiento de la planta (Ministerio del Medio Ambiente, 2017).

Revisión bibliográfica muestra que filtros de manga, ciclones, ciclón/filtro y filtros electrostáticos son las tecnologías comúnmente usadas en proyectos de calefacción distrital y plantas de cogeneración.

Filtros de manga: es un equipo que separa las partículas sólidas en suspensión de los gases de la combustión de biomasa residual. Este equipo es el más usado para eliminar MP 2.5. El elemento filtrante es una tela que captura hasta un 99% del MP y que es recopilado usando métodos neumáticos de limpieza, el material recopilado es posteriormente tratado como un rise. Uno de los problemas de este equipo es que los gases de la combustión de biomasa deben ser enfriados para evitar una operación ineficiente de la tela filtrante (UDT, 2013; UNTEC, 2014).

Ciclones: estos equipos son separadores de partículas de mediana y gran granulometría. El principio de funcionamiento es relativo a la introducción del flujo de gases que se quiere limpiar, este entra al equipo tangencialmente para luego ser dirigido mediante centrifugado gracias al diseño interior del ciclón que propicia la dirección de los gases en su interior. El aire relativamente limpio es descargado por la parte superior del ciclón y el MP es, por gravedad, decantado al fondo donde es colectado para su posterior almacenamiento y tratamiento como rise (UDT, 2013; UNTEC, 2014).

Ciclón/Filtro: básicamente es la combinación en serie del trabajo de un ciclón, cuyo aire relativamente limpio de MP grueso mayoritariamente que sale de este es el flujo de entrada del elemento filtrante donde se puede eliminar hasta el 99% del MP fino que el ciclón no pudo eliminar. Esta combinación de equipos es una de las más comunes de encontrar en plantas de cogeneración y calefacción distrital de mediano y gran tamaño (UDT, 2013; UNTEC, 2014).

Precipitadores Electrostáticos: el principio de funcionamiento de este equipo es básicamente un proceso de carga eléctrica de los gases de la combustión en donde una vez cargado este es atraído a unas placas metálicas opuestamente cargadas en un precipitador que son posteriormente recolectadas cuando a través de golpes a las placas de este precipitador las partículas son liberadas para su acopio y posterior tratamiento. La eficiencia de este dispositivo alcanza un 99% (UDT, 2013; UNTEC, 2014).

Filtros Vivos: son los elementos más sustentables encontrados para el tratamiento y abatimiento del MP 2.5 pero sus alcances son limitados en cuanto a capacidades de flujo para tratamiento. Estos filtros son de origen vegetal y básicamente captan el MP y otros contaminantes y por medio de reacciones con el elemento filtrante, sustrato, permiten que los gases salgan limpios a la atmosfera. Los gases deben enfriarse antes de pasar por el elemento filtrante. Las eficiencias de estos filtros van desde un 85% hasta un 92% (Filtro Vivo, 2018).

#### **14.2.4 Descripción de la Fase de Construcción**

Esta descripción corresponde a los detalles de los proyectos desde su génesis donde la ingeniería de detalles ya ha sido corroborada y los proyectos están listos para ser ejecutados considerando los detalles de la selección y preparación de los terrenos para el emplazamiento de estos. La Tabla 98 presenta los aspectos más importantes de la etapa de construcción de los proyectos desarrollados.

Nombre Proyectos	Fase de Construcción
<b>Calefacción Distrital Campus Teja UACH</b>	El terreno escogido corresponde a zona entre pabellón Docente y la Facultad de Medicina. Caminos deben ser habilitados. Incluyendo los accesos para maquinaria y posterior sistema de abastecimiento de biocombustible. Terreno debe ser preparado para las fundaciones y posterior construcción de obras civiles. Preparación de espacio para intervención de maquinaria de construcción. Corroboración de permisos de construcción dentro del área urbana de la comuna de Valdivia.
<b>Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH</b>	El terreno escogido corresponde a zona alta del Campus Miraflores en área entre el Estadio de Fútbol y el Pabellón Docente. Camino deben ser reacondicionado. Incluyendo los accesos para maquinaria y posterior sistema de abastecimiento de biocombustible. Terreno debe ser preparado para las fundaciones y posterior construcción de obras civiles. Preparación de espacio para intervención de maquinaria de construcción. Corroboración de permisos de construcción dentro del área urbana de la comuna de Valdivia.
<b>Planta Cogeneración Aserraderos Timberni S.A.</b>	Planta fija en dependencias del aserradero en sala contigua a planta de generación de vapor. Preparación de espacio para intervención de maquinaria y personal para mantención y puesta en servicio de turbina generadora.
<b>Planta de Fabricación de Pellets Comuna de Los Lagos</b>	El terreno escogido corresponde a zona rural en las afueras de la ciudad de Los Lagos en la comuna del mismo nombre. <sup>30</sup> Caminos deben ser habilitados. Incluyendo los accesos para maquinaria y posterior sistema de abastecimiento de biocombustible. Terreno debe ser preparado para las fundaciones y posterior construcción de obras civiles. Preparación de espacio para intervención de maquinaria de construcción.
<b>Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico</b>	Equipamiento auxiliar en dependencias del aserradero configurado en serie para continuar la cadena de producción de pellets. Preparación de espacio para intervención de maquinaria y personal para mantención y puesta en servicio de secador biomásico.

Tabla 98 Descripción de la fase de construcción de proyectos

#### 14.2.5 Descripción de la Fase de Operación

La fase de operación de las plantas fue desarrollado y presentado en detalle en la sección previa de este estudio, sin embargo, en esta sección la información es presentada en forma tabulada para mantener una secuencia lógica de los procesos y aspectos que una DIA necesita. La Tabla 10 presenta los aspectos más relevantes de la etapa de operación de las plantas.

---

<sup>30</sup> Un estudio más detallado debiera permitir identificar aspectos que quizás pudiesen abrir la necesidad de realizar un EIA en vez de una DIA, sin embargo, para efectos del estudio se ha asumido como una localización sin necesidad de considerarlos.

Nombre Proyectos	Fase de Operación
<b>Calefacción Distrital Campus Teja UACH</b>	<p>Balance energético que busca corroborar que el reemplazo en el consumo de combustibles fósiles por biomasa residual astilla es viable. Balance de los requerimientos de biomasa residual astilla para el periodo de servicio de la planta. Desarrollo del plan de abastecimiento de biomasa residual astilla considerando el impacto caminero y de acceso general al Campus.</p> <p>Desarrollo del plan de abastecimiento de insumos generales para operación y mantención de la planta. Desarrollo del plan de trabajo para cubrir los servicios fundamentales del personal a cargo de la operación y mantención de la planta.</p>
<b>Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH</b>	<p>Balance energético que busca corroborar que el reemplazo en el consumo de combustibles fósiles por biomasa residual astilla es viable. Balance de los requerimientos de biomasa residual astilla para el periodo de servicio de la planta. Desarrollo del plan de abastecimiento de biomasa residual astilla considerando el impacto caminero y de acceso general al Campus. Desarrollo del plan de abastecimiento de insumos generales para operación y mantención de la planta. Desarrollo del plan de trabajo para cubrir los servicios fundamentales del personal a cargo de la operación y mantención de la planta.</p>
<b>Planta Cogeneración Aserraderos Timberni S.A.</b>	<p>Balance energético que busca corroborar que el aumento en el consumo de biomasa residual astilla viabiliza la cogeneración de la planta. Balance de los requerimientos de biomasa residual astilla para el continuo servicio de la planta. Desarrollo del plan de aumento en el abastecimiento de biomasa residual astilla considerando el impacto caminero y de acceso general al aserradero. Optimización del plan de abastecimiento de insumos generales para operación y mantención de la turbina generadora. Optimización del plan de trabajo para cubrir los servicios fundamentales del personal a cargo de la operación y mantención de la turbina generadora.</p>
<b>Planta de Fabricación de Pellets Comuna de Los Lagos</b>	<p>Balance energético de los procesos de producción de pellet de alta calidad considerando la demanda energética de la planta. Evaluación económica del proyecto. Balance de los requerimientos de materia prima y posteriores procesos del proceso de pelletizado. Desarrollo del plan de abastecimiento de materia prima considerando el impacto caminero y de acceso general a la planta. Desarrollo del plan de abastecimiento de insumos generales para operación y mantención de la planta. Desarrollo del plan de trabajo para cubrir los servicios fundamentales del personal a cargo de la operación y mantención de la planta considerando 3 turnos diarios.</p>
<b>Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico</b>	<p>Balance energético de los procesos de producción de pellet de alta calidad considerando la demanda energética del secador biomásico respecto a la planta. Evaluación económica del proyecto. Balance de los requerimientos de materia prima y posteriores procesos del proceso de pelletizado. Optimización del plan de abastecimiento de materia prima considerando el impacto caminero y de acceso general a la planta. Aumento de producción. Optimización del plan de abastecimiento de insumos generales para operación y mantención de la planta. Optimización del plan de trabajo para cubrir los servicios fundamentales del personal a cargo de la operación y mantención de la planta considerando 3 turnos diarios.</p>

Tabla 99 Descripción de la fase de operación de proyectos

#### **14.2.6 Descripción de la Fase de Abandono**

De acuerdo con ciclo de vida de las plantas desarrolladas se ha estimado que un plan de cierre y abandono se debiera presentar con al menos 2 años de antelación de acuerdo con la normativa nacional vigente. Sin embargo, se ha considerado que de acuerdo con las tecnologías que se evaluaron, existe la posibilidad de alargar la vida útil de las plantas llevando a cabo un proceso de optimización de equipamiento principal y auxiliar. Los periodos de mantención considerados permitirán evaluar con prontitud si es posible extender la vida útil de las plantas y por cuanto tiempo. Estudios de factibilidad económica serán necesarios.



## 15. Cadena de Valor y Disponibilidad de Biomasa

### 15.1 Catastro de Unidades de Producción

En Chile, existen alrededor de 900 unidades de producción relacionadas al sector forestal. Las empresas grandes como Arauco, Mininco, Masisa<sup>31</sup> y otras, concentran la producción en no más de 25 grandes aserraderos. Distribuidos desde la región del Maule hasta Los Ríos, con una producción promedio superior a los 50.000 m<sup>3</sup>/año.

Aproximadamente un 90% de las unidades operativas son Pymes, que son aserraderos de menor producción con volúmenes menores a los 10.000 m<sup>3</sup>/anuales. El catastro de aserraderos en Chile, realizado por el INFOR, señala que, en la región de Los Ríos, existen aproximadamente 140 industrias primarias forestales, en las cuales se contemplan aserraderos móviles y permanentes, plantas de astillado, empresas de tableros y chapas, industrias de polines, postes, pulpa y papel. El Anexo 2 – Catastro de Aserraderos en la Región de Los Ríos presenta en detalle esta información (INFOR, 2017).

La distribución territorial de estos aserraderos, en la región de Los Ríos, se concentra en la ciudad de Valdivia, seguido de las ciudades que están más cerca de la carretera longitudinal, ya sea Lanco, Mariquina, Los Lagos, Paillaco, Rio Bueno y La Unión. Las comunas lacustres de Panguipulli, Futrono y Lago Ranco, en menor medida concentran el resto de la industria del aserrío en la región como se puede apreciar en la Figura 87.

---

<sup>31</sup> En el año 2015 se concreta una alianza estratégica entre Masisa y Hancock para financiar procesos productivos.

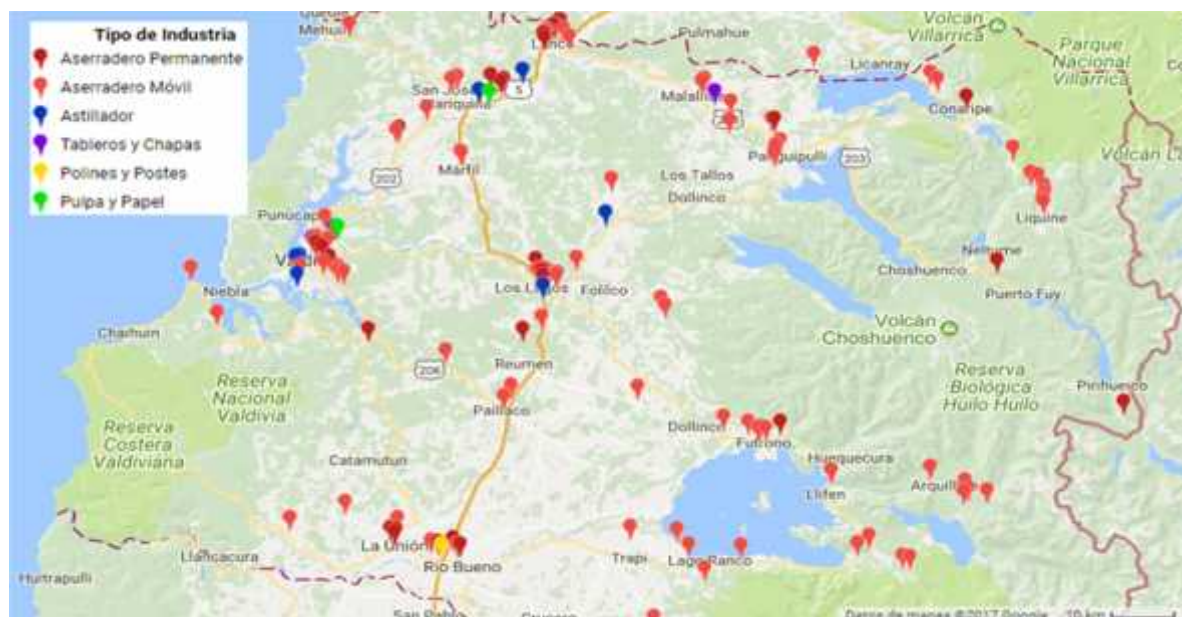


Figura 87 Ubicación y distribución de la industria regional del aserrío (INFOR, 2017)

De los 130 aserraderos catastrados por el INFOR en 2016, un 73% de estos se ubican en la provincia de Valdivia como se puede apreciar en la Figura 88.

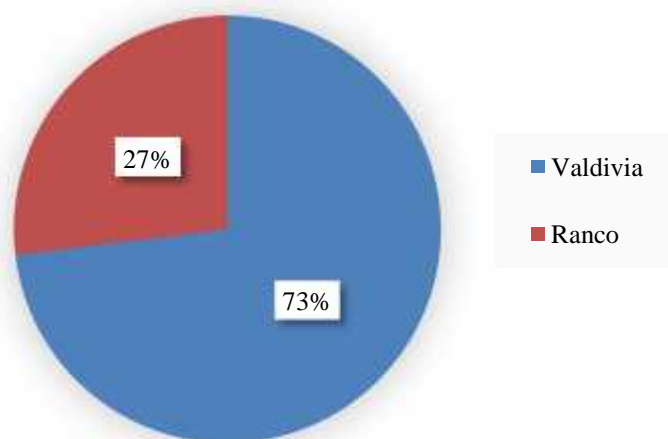


Figura 88 Distribución provincial de la industria regional del aserrío

Es interesante analizar en detalle el tipo de aserraderos o de industria del aserrío. En este sentido, la primera diferenciación, está dada por la movilidad de los aserraderos. En este sentido, de los 130 aserraderos regionales, 83 son móviles, ya sea móvil que trabaja con madera exótica, pinero, o de nativo, que, además, realizan labores de elaboración o remanufacturas.

En el otro sentido, son solo 38 unidades permanentes de aserraderos en la región de Los Ríos, las cuales, trabajan ya sea con madera de plantaciones, principalmente *PR* o de BN, Roble – Raulí – Coihue. Se puede mencionar que varios de estos aserraderos, realizan además labores de elaboración de partes y piezas, además de las remanufacturas de madera para la construcción como se puede apreciar en la Figura 89.

Por último, no es menor, señalar que existen 4 aserraderos que tienen una astilladora integrado con aserradero y que 5 empresas se reconocen como Central de astillado.

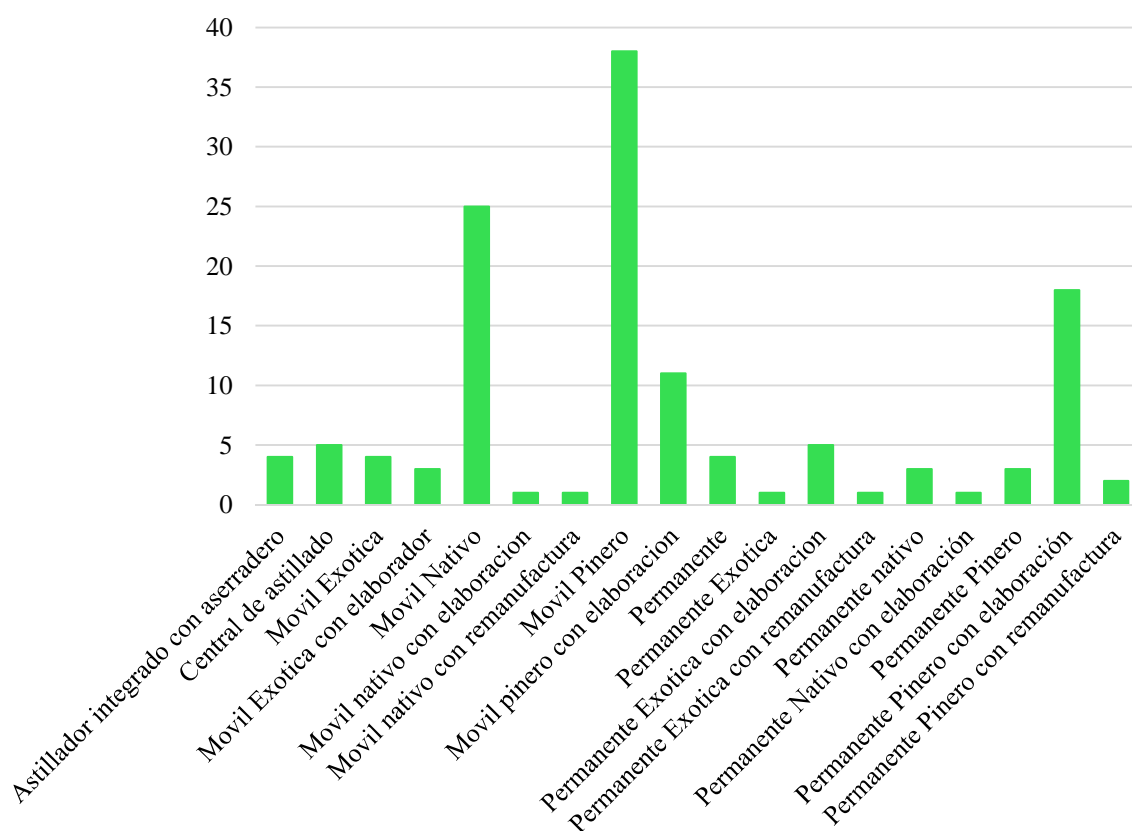


Figura 89 Tipo de aserraderos en la industria regional del aserrío (Forestal, 2018)

## 15.2 Producción del Sector Maderero Regional

En las últimas dos décadas, la industria forestal chilena ha experimentado un importante crecimiento en todos los rubros productivos que consumen madera para la elaboración de productos forestales, tales como la pulpa química y la madera aserrada, seguidos de las astillas y los tableros y chapas (CORMA, 2018).

La producción de madera aserrada en Chile actualmente alcanza los 8.3 millones m<sup>3</sup>/anuales, explicada principalmente por la producción que generan las grandes unidades pertenecientes a empresas como Arauco, Mininco y en menor medida Masisa. Esta producción se basa principalmente en la especie *PR*, que explica en los últimos años sobre el 90% de la producción anual (INFOR, 2017).

En base a la información del catastro de la industria primaria y secundaria de la madera, elaborado por el INFOR (INFOR, 2017), se puede apreciar que, en la región de los Ríos, la principal especie forestal utilizada en los 130 aserraderos catastrados es el *PR* con un 35%, Pino Oregón con un 15%, y Raulí con un 5% como se puede apreciar en la Figura 90.

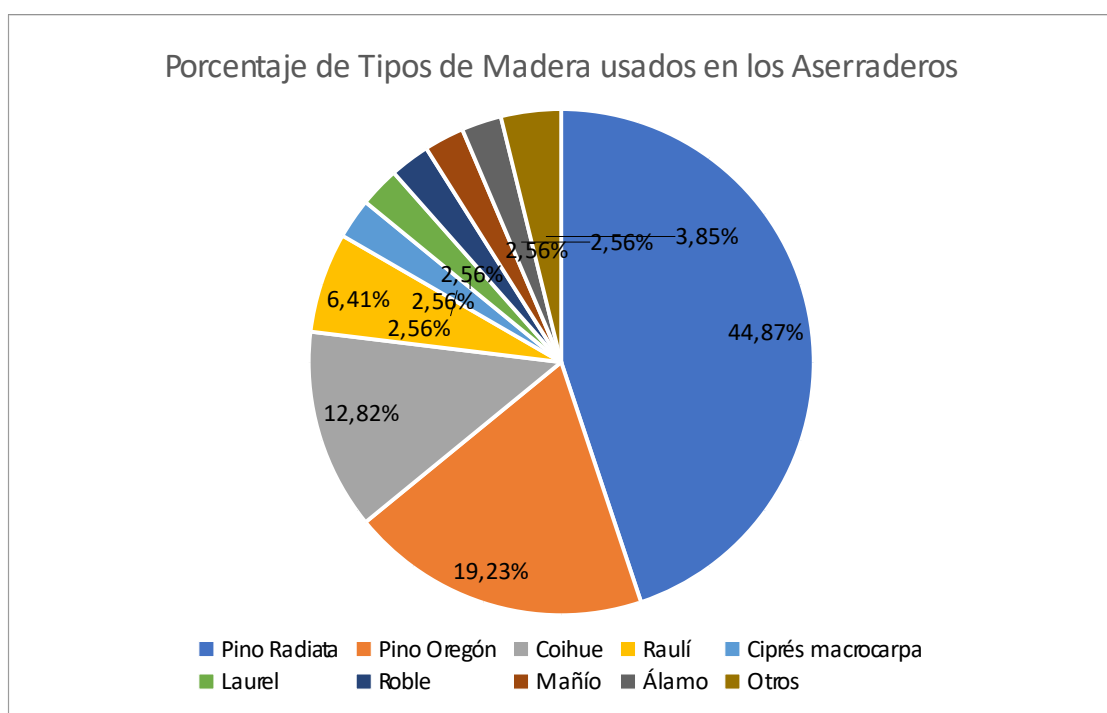


Figura 90 Principales especies madereras utilizadas en los aserraderos de la región de Los Ríos

En el catastro realizado por el INFOR (INFOR, 2017) de la industria forestal, de la región de Los Ríos, se realiza una consulta, respecto a la producción anual. En el caso regional, de los 130 aserraderos identificados, en 91 de ellos se reconoce que la producción es menor a 1.000 m<sup>3</sup> sólidos al año. En detalle, estos aserraderos en su gran mayoría son móviles.

En el rango de los 1.001 m<sup>3</sup> a 3.000 m<sup>3</sup> existen 16 aserraderos y en el rango de los 3.001 m<sup>3</sup> a 5.000 m<sup>3</sup> otros 6. Estos aserraderos son en su mayoría permanentes. Los restantes 17 aserraderos, son permanentes, y sus rangos de producción son mayores. En la Figura 91 y la Tabla 100 se puede apreciar la distribución de los 130 aserraderos de la región de los Ríos.

## Producción Anual

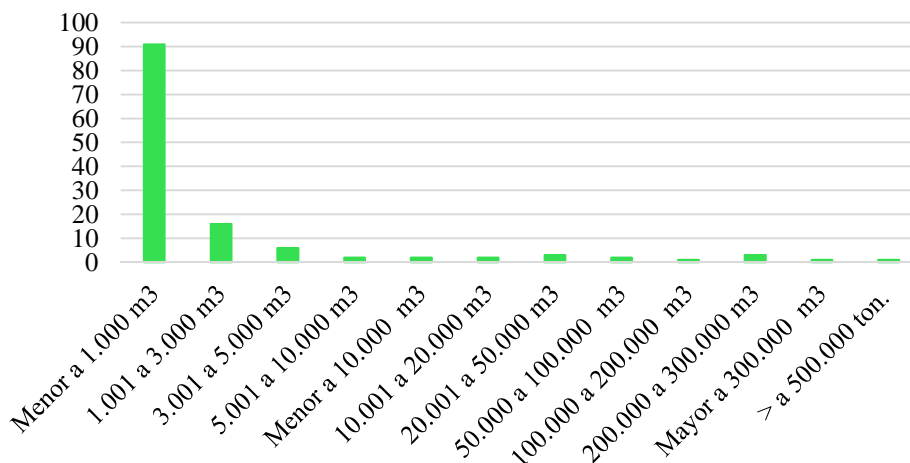


Figura 91 Producción anual en aserraderos de la región de Los Ríos (INFOR, 2017)

Producción Anual (m³)	Cantidad de Aserraderos
Menor a 1.000 m³	91
1.001 a 3.000 m³	16
3.001 a 5.000 m³	6
5.001 a 10.000 m³	2
Menor a 10.000 m³	2
10.001 a 20.000 m³	2
20.001 a 50.000 m³	3
50.000 a 100.000 m³	2
100.000 a 200.000 m³	1
200.000 a 300.000 m³	3
Mayor a 300.000 m³	1
> a 500.000 m³	1
<b>TOTAL, DE ASERRADEROS</b>	<b>130</b>

Tabla 100 Producción anual en aserraderos de la región de Los Ríos (INFOR, 2017)

Es importante resaltar, que los grandes aserraderos; Arauco, Timberni y otros, concentran más del 90% de la producción anual regional.

Los principales productos elaborados por los aserraderos en nuestra región son madera aserrada, con un 63%, seguido de madera elaborada con un 22%, o sea que en total tenemos más del 80% de los aserraderos de la región relacionados con estos productos, muy básicos en la cadena de producción y agregación de valor como se puede apreciar en la Figura 92 y la Tabla 101.

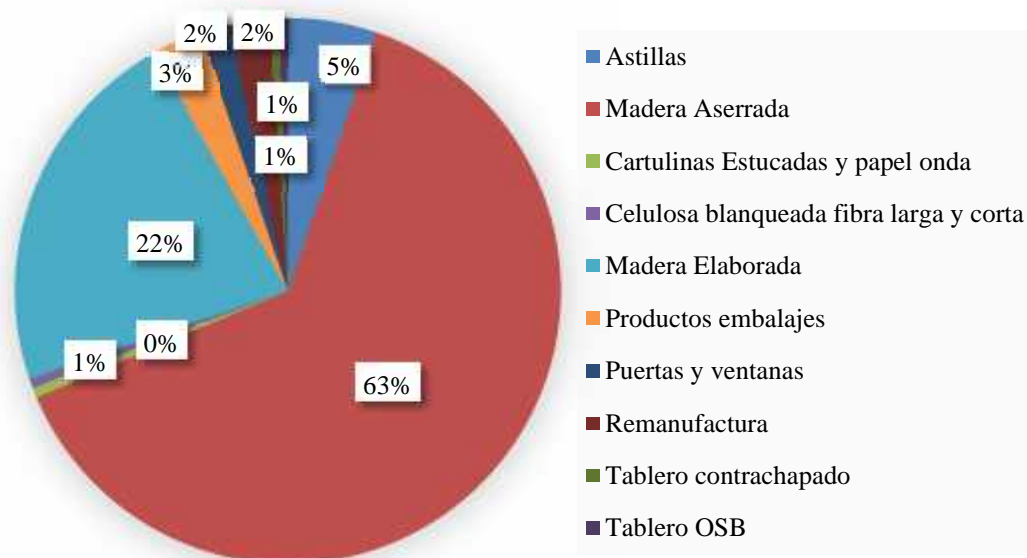


Figura 92 Principal producción de aserraderos de la región de Los Ríos (INFOR, 2017)

Tipo de Producto	Cantidad de Aserraderos
Astillas	9
Madera Aserrada	109
Cartulinas Estucadas y papel onda	1
Celulosa blanqueada fibra larga y corta	1
Madera Elaborada	38
Productos embalajes	5
Puertas y ventanas	3
Remanufacturas	4
Tablero contrachapado	1
Tablero OSB	1
<b>TOTAL, DE ASERRADEROS</b>	<b>130</b>

Tabla 101 Principal producción de aserraderos de la región de Los Ríos (INFOR, 2017)

La Tabla 102 presenta un resumen de los principales aserraderos regionales, que son permanentes, y que producen por sobre los 5.000 m<sup>3</sup>/año. Además, muchos de estos aserraderos producen madera elaborada y/o dimensionada, con opciones y necesidades de secado de maderas para un mercado con mayor valor agregado, ya sea para un mercado nacional o internacional.

Nombre Aserradero	Ubicación	Especie	Secador	Uso Biomasa
Hales y Becker	Mariquina	PR	No	No
Hugo Llanamán	Mariquina	PR - Otras - Nativas		
Astillas Quillalhue	Valdivia	PR	No	Si
Aserraderos Grob	La Unión	PR	Si	Si
Aserraderos Guerra	La Unión	PR - Pino Oregón	¿?	No
Infodema	Valdivia	PR	No	No
Timberni (ex Apsa)	Paillaco	PR	Si	Si
Louisiana Pacific	Panguipulli	PR		
Oregón Sur	Valdivia	Pino Oregón	Si	Si
DeOregon	Mariquina	PR - Pino Oregón	Si	Si
Aserraderos Collico	Mariquina	PR - Pino Oregón	Si	Si
Temsa	Los Lagos	Pino Oregón	Si	Si
La Crianza	Valdivia	PR	Si	Si
Novoa	Lanco	PR		
Colpo	Lanco	PR	Si	Si
Casas Lanco	Lanco	PR - Pino Oregón	No	Si
Forestal Lago Caburga	Mariquina	PR	No	Si
Maderas Sobarzo	Valdivia	PR - Otras - Nativas	Si	Si
Selva Valdiviana	Valdivia	PR	Si	No
Maderas Austral	Valdivia	PR	Si	No
Puertas Woods	Valdivia	PR - Pino Oregón	No	Si

Tabla 102 Aserraderos que producen sobre 5.000 m<sup>3</sup>/año (INFOR, 2017)

### 15.3 Diagnóstico de la Cadena de Valor de la Pyme Maderera Regional

A partir, del diagnóstico realizado en el marco del proyecto PROFO – Panamá (PROFO, 2017), llevado adelante por Pymemad Los Ríos A.G., se han identificado las principales etapas del proceso productivo de la industria secundaria de la madera en la región de Los Ríos, las cuales son las siguientes:

- ) Etapa 1 - Compra de bosques y/o madera en bruto.
- ) Etapa 2 - Aserrío de madera.
- ) Etapa 3 - Elaboración secundaria, piezas y partes.
- ) Etapa 4 - Secado artificial de la madera.
- ) Etapa 5 - Elaboración de Molduras, partes y piezas.
- ) Etapa 6 - Impregnación de maderas, polines y/o madera para construcción.
- ) Etapa 7 - Exportación de madera, molduras, partes y piezas.

En la Figura 93 se presenta la ubicación de algunas empresas representativas de Pymemad Los Ríos A.G. en la cadena de valor de la industria secundaria de la madera en la región de Los Ríos.



Se puede apreciar que las empresas se ubican desde la compra de materia prima hasta la exportación de productos con valor agregado. Lo anterior, demuestra un alto potencial de diversidad de productos, pero también de encadenamientos productivos entre las propias empresas.

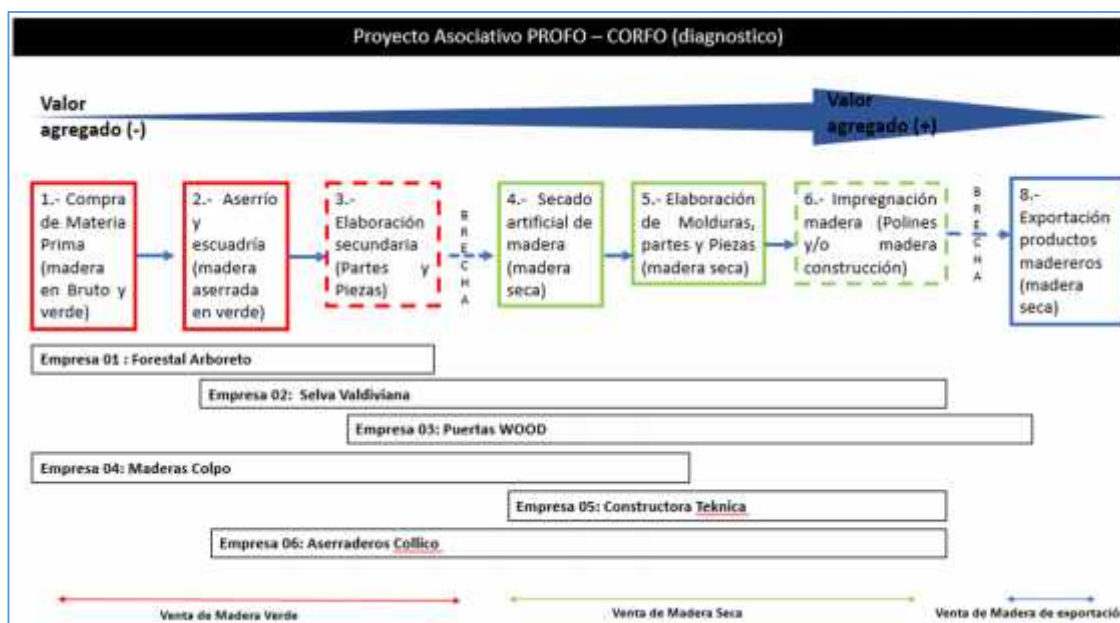


Figura 93 Cadena de valor de la Pyme maderera región de Los Ríos (PROFO, 2017)

## 15.4 Producción de Biomasa Sector Maderero Regional

Dentro del estudio estos desechos pasan a ser considerados biomasa residual, pero para efectos de la continuidad de la realidad de la industria primaria han sido tabulados como desechos. La Figura 94 muestra en forma significativa que un 75% de estos desechos son aserrín, lampazo y desechos de corteza. Cuando se les consultó que hacían con estos desechos, la industria primaria cuantifica que un 46% de estos desechos son donados a quienes los soliciten o simplemente son desperdiciados, sólo un 23% venden sus desechos al público general y un 11% es vendido a empresas que se dedican al astillado de desechos como se puede apreciar en la Figura 95.



Figura 94 Clasificación de los tipos de desecho generados por la industria primaria



Figura 95 Destino de ventas de desechos generados por la industria primaria

De las empresas que contestaron la encuesta, en total el volumen de desechos supera los 11.000 m<sup>3</sup>/año, de esto aproximadamente 6.000 m<sup>3</sup>/año corresponden a aserrín.

Respecto al uso que se les da a los desechos, el 44% que muestra la Figura 96: sigue conectado a la donación de los desechos, sin embargo, el 28% que está registrado como quemado, representa las capacidades de la industria primaria de usar estos desechos en equipos tales como calderas para la generación de vapor y para la generación de electricidad ya sea para autoabastecimiento en el caso del vapor y para el autoabastecimiento y venta al SEN para el caso de la generación eléctrica.

¿Su empresa usa parte de los desechos, como los utiliza?

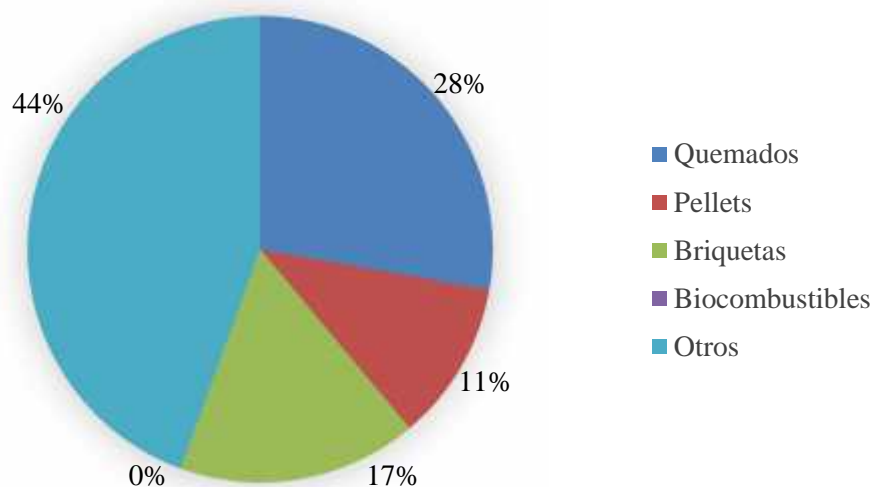


Figura 96 Usos de los desechos producidos por la industria primaria

Concentrando los resultados respecto al uso de los desechos madereros, un 52% de la industria primaria reconoce que pierde y no da uso a los desechos madereros y forestales como se puede apreciar en la Figura 97.

¿Su empresa pierde parte de los desechos generados en su producción?

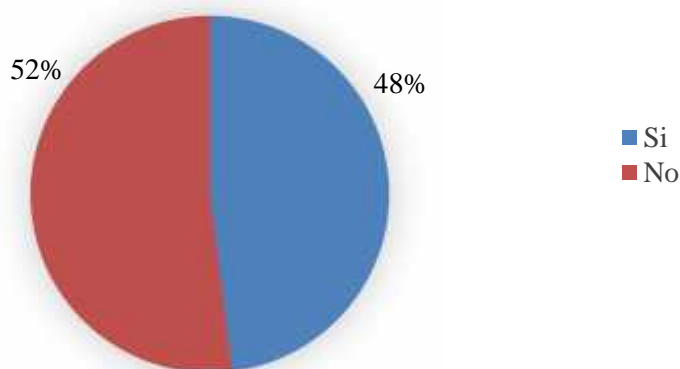


Figura 97 Aprovechamiento de los desechos producidos por la industria primaria

### 15.5 Flujo Potencial de Biomasa Residual Forestal

La disponibilidad de biomasa, según lo determinado en los capítulos anteriores del estudio ha definido, que el Flujo Potencial de Biomasa Residual Forestal, FPBRF, es:

J BN: 1.892.260,5 TS/año

De los cuales son:

- Renovales: 968.137 TS/año
- Concentrados en el Área Cordillerana: 1.267.050,97 TS/año

) Plantaciones: 425.820,2 TS/año

De los cuales, corresponde a Pymes un monto aproximado de 102.189,6 TS/año. Lo anterior, refleja que la gran disponibilidad de biomasa residual forestal está en propiedad de las grandes empresas forestales regionales.

La Figura 98 presenta el Mapa de Calor de disponibilidad de biomasa para la generación de energía a partir de desechos y residuos de cosechas de BN y Plantaciones y de los procesos productivos de industria primaria.

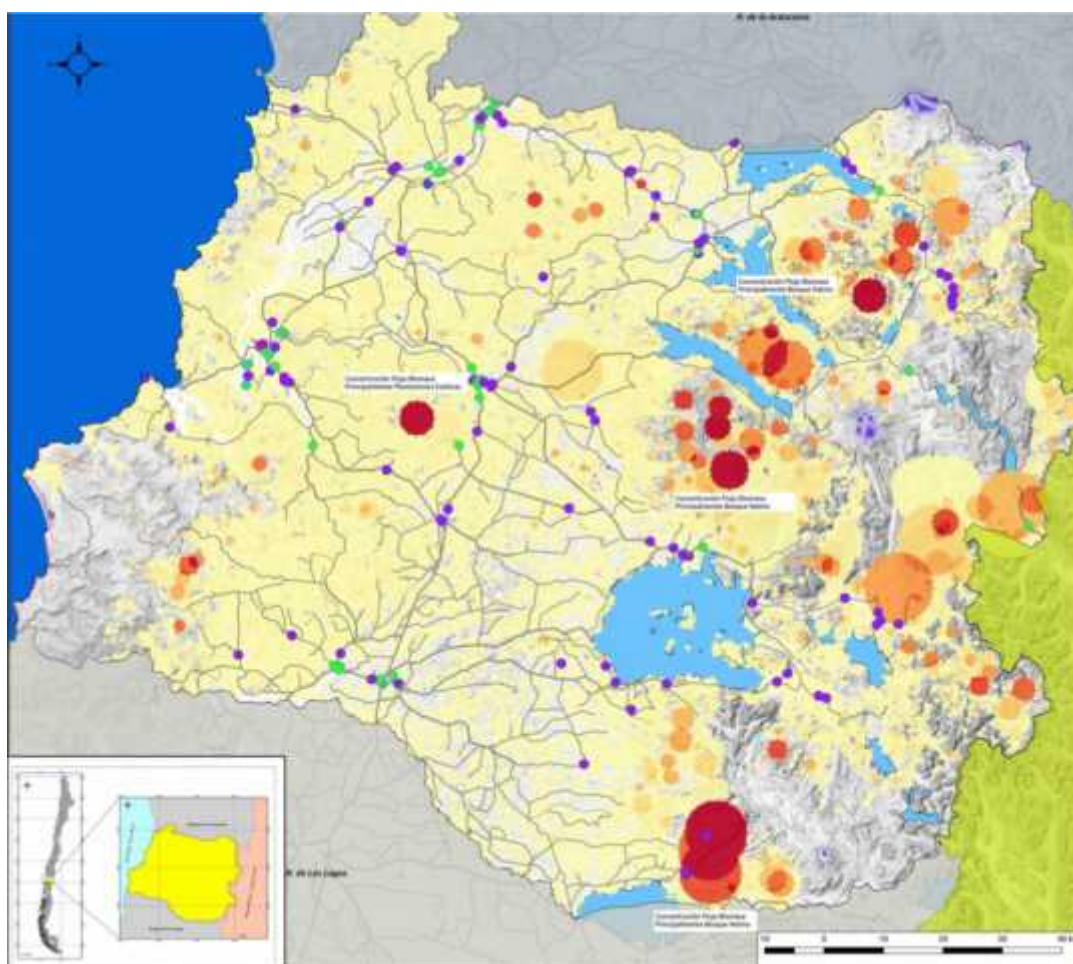


Figura 98 Mapa de calor de disponibilidad de biomasa residual (Forestal, 2018)

La industria primaria en la región de Los Ríos está compuesta por 130 empresas. De estas empresas, Aserraderos Arauco presenta la mayor capacidad de producción de biomasa residual, 250.000 m<sup>3</sup>/año, los cuales son utilizados para consumo interno. También es posible inferir que la mayor cantidad de

empresas con producción menor a 500 m<sup>3</sup>/año corresponden a aserraderos portátiles, en cuyo caso se dificulta la recolección de, por ejemplo, lampazos debido a la característica móvil de trabajo, en este sentido, tampoco debieran ser consideradas como productoras de lampazos las plantas de astillado debido a que corresponde a un proceso intermedio, por lo tanto no existe producción, lo mismo ocurre con la industria de polines y postes, ya que se trata de un subproducto. Con lo anterior, se puede incluir entre las empresas con capacidad de entrega de lampazos a los aserraderos y la industria de tableros y chapas con una producción anual de residuos de 500 m<sup>3</sup>/año a 10.000 m<sup>3</sup>/año.

En total, se estima que la región presenta un flujo potencial de biomasa forestal, a partir de residuos de la industria primaria de la madera, de 124.780 TS/año cuando se descuenta la producción de Aserraderos Arauco S.A.

### 15.5.1 Escenarios de Utilización del FPBRF

La aplicación de los escenarios de utilización potencial de biomasa provoca una merma importante en la disponibilidad total en la región de Los Ríos, debido principalmente al enorme potencial de biomasa de BN que, bajo las condiciones actuales de costo de suministro y precio de leña como producto sustituto, quedaría fuera como biomasa potencialmente utilizable para nuevos proyectos en el corto y mediano plazo como se puede apreciar en la Tabla 103 que no considera a la gran empresa forestal y considera los escenarios de utilización potencial en la región de Los Ríos.

Tipo de Biomasa	Disponibilidad Total, Teórica (TS/año)	Escenario Optimista (TS/año)	Escenario Pesimista (TS/año)	Escenario Probable (TS/año)
<b>Residuos Generales BN</b>	1.469.640	0	0	0
<b>Residuos Leña BN</b>	39.192	15.677	3.919	9.798
<b>Residuos Cosecha PR</b>	27.923	19.546	8.377	13.962
<b>Residuos Cosecha <i>Eucalyptus sp.</i></b>	218.468	152.928	65.541	109.234
<b>Aserrín y Corteza</b>	29.268	11.707	2.927	7.317
<b>Lampazos</b>	32.520	13.008	3.252	8.130
<b>Total, General</b>	1.817.012	212.866	84.016	148.441

Tabla 103 Disponibilidad teórica total de residuos de madera (Forestal, 2018)

No obstante, siempre habrá algunos propietarios que verán la venta de biomasa como una oportunidad para manejar sus bosques, por lo cual estarían dispuestos a vender a un menor precio, renunciando hoy al ingreso por valor de la madera en pie y apostando a los mayores beneficios correspondientes con un bosque futuro de mejor calidad.



La disponibilidad teórica de desechos de cosecha de plantaciones de *Eucalipto sp.* Se aprecia como el segundo en importancia y el primero en los escenarios de utilización potencial como se puede apreciar en la Figura 99. Esta situación se estima sostenible en el tiempo, aun cuando se observa que pequeñas y medianas empresas de leña en los últimos años han comenzado a utilizar el metro ruma como base de la venta de leña debido a que es más barato como materia prima en comparación a la leña larga en formato metro estéreo. Lo anterior se explica por el incremento sostenido en los precios de leña.



Figura 99 Disponibilidad teórica total residuos y desechos región de Los Ríos (Forestal, 2018)

En el escenario de una disponibilidad teórica, el BN, aporta el 83,1% de los residuos y desechos. En cambio, en una situación más probable, baja al 6,6% de aporte como se puede apreciar en la Figura 100.

En la simulación de un escenario más probable, el aporte que pueden realizar las plantaciones pasa a tener una mayor importancia. En especial, los residuos de cosecha de las plantaciones de *Eucaliptus sp.* Esto tiene que ver directamente con la disponibilidad de abastecimiento, al ser estas, plantaciones que no están en manos de grandes empresas forestales como se puede apreciar en la Figura 100.

Si bien los escenarios pueden calificarse como demasiado conservadores en el caso de leña de BN, esto se debe a que será una innovación en el proceso productivo que requiere de tiempo hasta una plena adopción. La disposición a participar por parte de los productores es por ahora limitada. De ahí

que, en la simulación de escenarios, ver Figura 100, se otorgue un valor cero a los residuos generales de BN, y si se asume una utilización de la leña del BN, y que se asuma que sus residuos podrían ser utilizados en procesos de cogeneración. Para el aprovechamiento de desechos de cosecha de plantaciones e industrias de la madera existe mayor experiencia, aunque el factor precio será determinante en su incorporación a la generación de calor.



Figura 100 Disponibilidad probable total residuos y desechos región de Los Ríos (Forestal, 2018)



## 16. Marco Conceptual de la Propuesta

### 16.1 Conceptos del Modelo de Gestión

La propuesta considera tres aspectos conceptuales que definirán el modelo de gestión y la estrategia de inversión y desarrollo de una propuesta de política pública piloto de biomasa como insumo para desarrollar negocios que usen la biomasa para la cogeneración de energía:

- ) La dimensión territorial.
- ) La asociatividad o integración horizontal.
- ) El proceso logístico integrado territorialmente.

Con ello, se configurará un modelo de gestión territorial que incluya los temas, actores implicados y roles de cada uno; así como los instrumentos normativos e institucionales existentes, potenciales y escenarios de trabajo; que incluya los ejes transversales como desarrollo local, medioambiente, pueblos originarios, género, juventud entre otros.

Con lo anterior, se pretende aportar al logro de una visión regional compartida de la descentralización y formulación de políticas públicas que mejore los medios de vida de las zonas rurales y fortalezca al empresariado de diferentes industrias impactadas positivamente por el desarrollo de una estrategia de cogeneración de energía a partir de biomasa en la región de Los Ríos.

#### 16.1.1 La dimensión Territorial

La gestión territorial es un proceso de construcción social de un territorio a partir de la revisión de tres elementos básicos:

- ) La identidad.
- ) La institucionalidad.
- ) Los instrumentos de gestión territorial.

En conjunto, estos elementos, son detonantes del proceso que están fuertemente identificados con la construcción social que buscan intervenciones estratégicas que permiten desarrollar las potencialidades territoriales.

La gestión territorial incluye conceptos y elementos relacionados con el manejo social del territorio en términos de integración, organización y manera de interrelacionarse entre diferentes agentes a partir del marco institucional que rige sus interacciones.

En las entrevistas y las conversaciones, con los distintos actores de la Pyme maderera regional, se ha evidenciado, que en Chile -y la región no ha estado exenta- se aprecian controversias en el territorio al no contar con incentivos adaptados al desarrollo económico que sean percibidos como beneficiosos para todos. Las potencialidades de inversión también son vistas como amenazas por algunos sectores porque perciben que no generan desarrollo y sus beneficios no les alcanzan. Por otra parte, inversionistas que cumplen con las exigencias normativas para invertir, ven postergados por burocracia, controversias y judicialización sus proyectos.

La Pyme maderera, considera que el desarrollo institucional que se promueva a través de la gestión regional debiera estar orientado a la atracción y optimización de inversiones para la transformación productiva en la región incorporando los elementos conceptuales de la gestión del territorio.

#### 16.1.1.1 Desarrollo del Concepto

Desde su concepción, el concepto de “territorio”, ha evolucionado a una definición interdisciplinaria. No comprende solo variables físicas, climáticas y ambientales o de espacio físico con cualidades materiales tales como recursos y funcionales, sino se comprende también desde los procesos y grupos sociales que lo han transformado e intervenido, lo han hecho parte de su existencia y devenir.

Así mismo, el “territorio” ahora es considerado como **un espacio socialmente construido con identidades e institucionalidades que definen las relaciones entre los actores, el uso de los recursos y su distribución**. De alguna manera este concepto puede ser ejemplificado por desavenencias y controversias generadas por las miradas locales de organizaciones locales, colectivas sociales y pueblos originarios en la región a partir de inversiones que aportarían al desarrollo del país.

Esta descripción del concepto de "territorio" involucra un proceso de apropiación social del espacio, referido a la forma en cómo la población se identifica con el mismo, sus características y recursos. Entran en juego las relaciones entre todos los actores de un territorio, quienes dan lugar a ordenar su convivencia para elaborar y ejecutar proyectos comunes, diseñar el futuro y sus medios de vida, definir sus normas de convivencia, de producción y de relaciones territoriales.

En resumen, se trata de la forma en cómo se elabora el sentido de pertenencia del espacio, sea éste habitable, productivo, recreativo o de reserva.

El concepto de "gestión territorial" supone un poder de control, manejo y decisión en el uso de los recursos que existen en un determinado espacio por parte de sus actores. **Es un proceso de administración política del territorio y de los recursos que existen en él, con el objetivo de mejorar los medios de vida para los pobladores de este.** En esa virtud, no basta delimitar geográfica o administrativamente un territorio, sino que es necesario también tomar en cuenta la capacidad de influir y controlar los medios, instrumentos y recursos para la toma de decisiones estratégicas sobre el uso de los recursos del espacio territorial. Pero también implica la posibilidad de enfrentar conflictos por las distintas visiones e intereses ya sea internas o externas a la localidad o espacio, sobre el uso de los recursos en el territorio. Cuestión que la región vive actualmente.

Por eso, también se ha empezado a entender desde la academia como desde el estado, el territorio como un recurso colectivo, elemento que conduce al tema del desarrollo local y a la capacidad de gobernabilidad como modalidad de construcción de criterios y decisiones colectivas que permite su apropiación por parte de los actores, la definición de sus proyectos y su movilización.

Al concebir al territorio como un espacio definido socialmente, entonces la "gestión territorial" se convierte en agente fundamental para el desarrollo local. Por ende, el enfoque territorial del desarrollo depende y se interrelaciona con factores históricos, sociales y culturales en las mismas áreas locales que pueden generar procesos significativamente diferentes a partir de las características locales definidas. Ello permite pasar de una concepción homogénea y de una gestión centralizada del desarrollo a una apuesta por las particularidades de lo local, fuertemente marcadas por la globalización.

Estos aspectos se viven en la gestión del territorio regional:

- ) Intereses regionales vs intereses nacionales.
- ) Intereses culturales dada la existencia en la región de etnias como la Mapuche, Mapuche Huilliche, Lafquenche y Pewenche versus intereses empresariales.
- ) Intereses de las Pymes y de las grandes empresas.
- ) Intereses desde lo local y lo regional, tanto en lo público como en lo social.

Todos estos intereses y estos distintos stakeholders, generan nuevos desafíos a partir de fortalecimiento de la institucionalidad y la incorporación de potenciales productivos como la biomasa, la industria secundaria de la madera y la industria agroalimentaria con base en energía térmica para productores rurales en nuevos modelos de negocios y participación.

La información secundaria revisada da cuenta de tres elementos importantes que constituyen un proceso de gestión territorial, lo que también se puede apreciar en la Figura 101:

### **Identidad Territorial**

Que se refiere a la forma en que la población se identifica con el territorio, sus características y recursos. La identidad territorial responde a ese proceso de apropiación del espacio particular sobre el que se construyen redes y sistemas de producción, organización, distribución de bienes y servicios, interconexiones e interdependencias. Una identidad territorial bien desarrollada, es expresada a través del arraigo evidente y manifiesto de sus habitantes a ese territorio y de la percepción que otros tienen de ellos como miembros de esa comunidad, asociación, mancomunidad o conjunto de estas y del espacio geográfico determinado. Aquí los símbolos distintivos y procesos de formación de identidades territoriales juegan un papel importante y trascendental en la formación de tejidos sociales y sinergias locales.

### **Institucionalidad Territorial Endógena**

Que se refiere a una autoridad territorial "de hecho o de derecho", que tiene la capacidad de plantearse objetivos de mediano y largo plazo, así como lanzar propuestas y acciones estratégicas. Es decir, institucionalidad territorial en términos del ejercicio de la autoridad, capacidad de conducción y toma de decisiones, donde la dimensión espacial está incorporada. Implica la posibilidad del control, manejo y poder de decisión sobre el uso y distribución de los recursos que existen en un determinado espacio por parte de sus actores. Pero también, implica la posibilidad de enfrentar conflictos por las distintas visiones e intereses sobre el uso de los recursos en el territorio, como la interlocución entre los actores territoriales y las instituciones de nivel superior de índole municipal, provincial, nacional o internacional, gubernamentales o no gubernamentales.

Por el carácter endógeno de la institucionalidad territorial, entendemos que está construida sobre la base de representaciones de los diversos actores dentro de un territorio, de abajo hacia arriba, con un alto grado de participación y democracia interna. Esta institucionalidad se logra a partir de la coordinación de un conjunto de acciones distintas, pero estrechamente relacionadas y coherentes entre sí, en un territorio que trasciende el ámbito geográfico inmediato a la comunidad de origen.

### **Instrumentos de Manejo Territorial**

Que se expresan en estrategias colectivas construidas alrededor de diversos intereses o preocupaciones, como: ordenamiento territorial, establecimiento de corredores biológicos, manejo de riesgos, estrategias productivas, ecoturismo, manejo de cuencas, conservación de suelo y agua, manejo

de bosques, etc. y acciones específicas por medio del establecimiento de normas y reglas que definen las relaciones entre los actores y la distribución y uso de los recursos. Muchas veces implica necesidades de capacitación o transferencia de conocimientos y tecnologías.

Los instrumentos de manejo territorial se manifiestan en cambios de prácticas que favorecen el manejo sostenible del territorio.

El proceso de construcción, interdependencia y progreso de estos elementos son dinámicos y responden a la diversidad de formas de organización y actores que coexisten en el territorio mismo.

Los elementos mencionados anteriormente deben configurarse tomando en cuenta estas interrelaciones en la búsqueda permanente de soluciones para el mejoramiento de los medios de vida.

La integración del sector rural y local informal, en el marco de procesos de modernización productiva, en general es abordada desde dos dimensiones complementarias:

- ) Fomento al desarrollo productivo de microempresas y pequeños productores facilitando el acceso de éstas a los mercados y a los recursos productivos tales como crédito, capacitación y comercialización en nuevos mercados.
- ) Modificaciones al marco regulador en algunos casos, para facilitar la incorporación de estas empresas al circuito formal.

La cuestión de fondo que se pretende desde una Política Pública moderna coherente con acuerdos país y complementaria a las exigencias que las nuevas normas y públicos interesados exigen a las inversiones es el desarrollo sustentable del territorio y desde el punto de vista del interés del Estado es transformar la relación gasto público en programas de asistencia y subsidio versus inversiones y generación de nuevos contribuyentes. El desarrollo local y regional basado en inversiones de base forestal como la biomasa y su impacto en otras industrias como la forestal eléctrica y agroalimentaria, puede ser un ejemplo.

Se deben promover proyectos de escala competitivos evitando de esa manera la competencia desleal que existe entre pequeños productores agrícolas, madereros, forestales y de turismo frente a grandes inversiones agroalimentarias, forestales y eventualmente bioenergía.

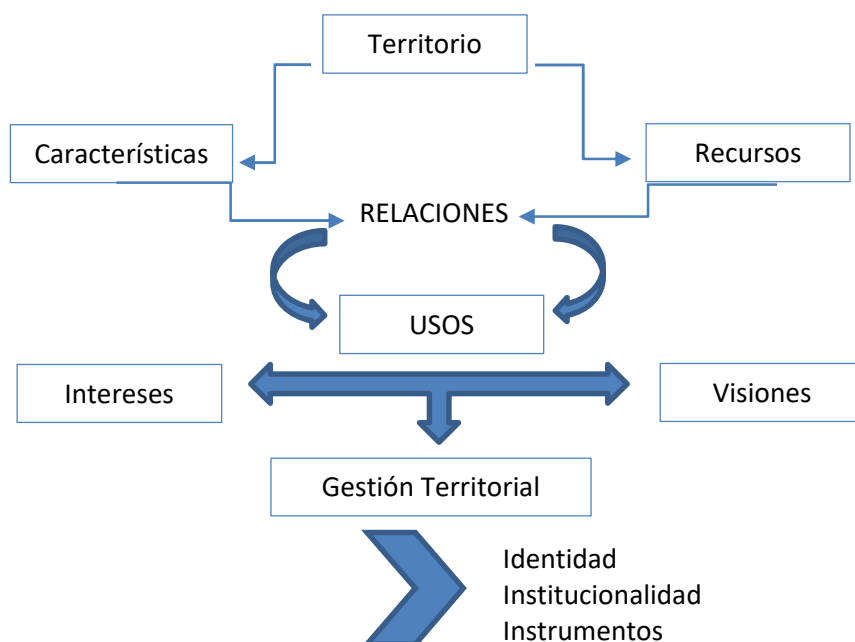


Figura 101 Concepto de territorio y gestión territorial (Forestal, 2018)

#### 16.1.1.2 Desarrollo de Mercados Financieros e Instrumentos para Pymes Madereras

***Necesidad: “Desarrollo de mercados financieros e instrumentos de acuerdo con las necesidades de las pequeñas y medianas empresas madereras de la región”.***

Hasta el presente, la ausencia o acceso insuficiente, al financiamiento de Pymes madereras desde el Estado y desde el sector financiero, ha sido el principal impedimento para el crecimiento de los emprendimientos existentes y la formación de nuevos.

Innovaciones en los “Modelos de Negocios” como en los sistemas de financiamiento son esenciales para reducir los costos de la intermediación y estimular el ahorro y la inversión.

Según los actores del sector, lo anterior significa crear y reforzar instrumentos bancarios y extra bancarios para un mejor manejo y gestión de los riesgos en economías con una alta diversidad de sistemas de producción de baja escala y que requieren figuras como la asociatividad para generar tamaño y calificación de “Riesgo” que permita acceder a proyectos bancarizables.

Uno de los principales instrumentos que se utilizan en la región, es la conformación de “fondos de garantías” para pequeños negocios. Estos permiten la diversificación del riesgo y reducen el costo del crédito.

La modalidad de "capital semilla" surge como otra herramienta orientada hacia el desarrollo de proyectos innovativos, principalmente en el área del desarrollo de la pequeña y mediana empresa. Sin embargo, no son instrumentos para apoyar negocios asociativos de escala donde la interacción de la industria de base forestal con las agroalimentaria puede generar empresas competitivas. La paradoja es tener proyectos potencialmente rentables, pero no bancarizables.

### **16.1.2 Asociatividad para el Desarrollo Territorial**

Una de las causas expresadas de la no inserción de las Pymes madereras en el mercado financiero, base para desarrollar las inversiones necesarias para sus proyectos, tiene que ver con el tamaño. La presencia de actividades silvoagropecuarias en la región presenta un mosaico de muchas pequeñas empresas que intentan resolver sus limitaciones en forma individual. Existe ausencia de integración productiva y de proyectos que atiendan estas debilidades.

La "asociatividad" es una forma de organización que puede aportar a la generación de inversiones y desarrollo en territorios con potencial productivo y bajo nivel de contribución al PIB regional.

Al proponer que los "negocios asociados al uso de la biomasa para la cogeneración de energía" puede ser un factor que detone desarrollo productivo al integrarse, por ejemplo, con la industria agroalimentaria al ofertar energía, ya sea eléctrica o térmica, para eventuales proyectos.

La "asociatividad" surge, como una alternativa para superar barreras de inserción al mercado al generar poder de negociación, economías de escala y ser señal en el mercado.

Con ello, se podrían abordar temas estructurales de la Pymes madereras y productores locales al dar solución a brechas existentes como promoción, mercadeo, ingeniería y desarrollo, enfrentar temas tecnológicos, desarrollo de recursos humanos, mejorando la competitividad al posibilitar:

- ) La optimización de la rentabilidad en la cadena productiva más allá de una empresa individual, reduciendo los costos, incrementando las ventas y entregando más valor a la cadena productiva que para satisfacer a los clientes finales.
- ) Una mejor inserción el mercado de productos y de factores de la producción.

La "asociatividad" también denominada "integración en redes horizontales" es una herramienta de gestión empresarial que ofrece opciones para empresas de similar tamaño, sector, localización, etapa del proceso productivo, en relaciones de colaboración entre empresas y con entorno institucional, por último, con la "asociatividad" se constituyen relaciones de carácter estratégico de largo plazo y permite crear ventajas competitivas difícilmente alcanzables en forma aislada.



Al hacer referencia que las redes horizontales permiten una mejor forma de inserción en el mercado de productos y de servicios se puede hacer referencia por ejemplo a:

- ) Redes de comercialización: venta de paquetes con productos provenientes de varias empresas complementarias para complementar y especializa la producción de mayores volúmenes.
- ) Actividades de promoción fuera de la región, coordinar. Logística de distribución para coordinación.
- ) Certificación y acreditación en la cadena de calidad como complementación.
- ) Acciones de programación de la producción, estacionalidades de oferta versus demanda. Ejemplo: Distintas ofertas en el tiempo para diferentes continentes, la coordinación.
- ) Obtención de información de mercados periódica, la coordinación.
- ) Mecanismo de compra de Insumos. Compactación de volúmenes para comprar juntos, obtener mejor precio, homogenización de calidad y complementación. Comprar con asesoría e información, grado de especialización.
- ) Esquemas de subcontratación, coordinación.

En el caso de factores de la producción, se puede mencionar los beneficios a modo de ejemplo en los siguientes campos:

- ) Acceso a infraestructura.
- ) Instalaciones o equipamiento compartido.
- ) Laboratorios.
- ) Bodegas, talleres, capacidad de almacenamiento en la red.
- ) Acceso a tecnología, transferencia, I+D.
- ) Asistencia Técnica Especializada.
- ) Capacitación Especializada.
- ) Investigación Conjunta.
- ) Acceso a financiamiento.
- ) Fondos de Garantía.
- ) Líneas Especializadas con bancos.
- ) Seguros especializados.
- ) Acceso a capacitación más pertinente.
- ) Negociación conjunta de Capacitación.
- ) Especialización de recursos humanos para uso colectivo.

- J Solución a aspectos de regulación.
- J Instalación de Plantas de Tratamiento, o equipamiento de alta inversión.
- J Tratamiento de temas ambientales.
- J Certificaciones orgánicas.

Ahora bien, la figura jurídica y modalidades podrán tomar alguno de los siguientes formatos:

- J Empresas integradoras y Cooperativas.
- J Centros vinculadores y Centros de Articulación Productiva.
- J Centros tecnológicos.
- J Proyectos de fomento PROFOS.
- J Parques industriales.
- J Sociedades de garantía.
- J Bolsas de Subcontratación.
- J Incubadoras.
- J Organismo Técnico Intermedio de Capacitación, OTIC.

Lo anterior, ilustra una serie de herramientas que podrían ser una adecuada solución para articular acuerdos entre empresas y productores que se necesitan para crecer y competir.

### 16.1.3 Logística Integrada

La importancia de considerar el concepto de “logística integrada al territorio”, se funda en que la generación de bienes y servicios en zonas rurales demanda un efectivo servicio del Estado en materia de infraestructura como; transitabilidad de caminos, saneamiento básico, asociatividad etc.

**“En definitiva no será el pequeño empresario el que compite, sino el territorio, y como se ha señalado, la ausencia de articulación pública y ausencia de mecanismos de inserción al mercado e integración de industrias, el territorio no será competitivo”.**

En la actualidad, la “logística” se relaciona con conceptos empresariales relacionados a la gestión del flujo de materiales y productos de la empresa desde los proveedores hasta los clientes de forma que se consiga llegar al cliente cuando se necesita, con el menor costo integral. En este caso considerando también la función pública.

El objeto final de cualquier sistema logístico es satisfacer las necesidades de los clientes y en la actualidad se acepta mundialmente que la necesidad de comprender y satisfacer estos requerimientos es un requisito fundamental para la supervivencia empresarial.

En una organización se deben coordinar tres flujos importantes:

- ) El de la información, que va desde los clientes a los proveedores siendo internos y externos.
- ) El de los materiales, que fluyen en sentido inverso al anterior, desde los proveedores a los clientes siendo internos y externos.
- ) El de los fondos monetarios provenientes del pago por los bienes y/o servicios, que se establece entre el cliente externo y toda la cadena de proveedores internos y externos.

En nuestro caso en que se propone generar inversiones y competitividad sustentable, la gestión eficiente de los flujos operativos, de información y económicos en la “cadena de valor” de las diferentes industrias que podrían estar presentes requerirá de conceptos de gestión que se enfoquen en el cliente final, valorando la información, integrando o generando sinergias y planificando entre los actores de las cadenas acciones que minimicen los costos de producción.

## 17. Propuesta de Modelo de Gestión

La propuesta para el modelo de gestión para la inversión en la Pyme Maderera y silvoagroalimentaria en generación térmica a partir de biomasa:

### 17.1 Objetivo del Proyecto

Producir energía térmica en base a biomasa forestal proveniente del área piloto de la región, que sirva de insumo para inversiones asociativas con la industria que genere valor para:

- ) Inversionistas.
- ) Socios productivos.
- ) Comunidades aledañas, Mapuche.
- ) Pequeños y medianos productores forestales.
- ) Pymes industriales de la madera de la región.

El modelo se sustentará en tres consideraciones del ámbito territorial:

- ) Simplificación de la gestión territorial de la inversión.
- ) Institucionalidad y coherencia.
- ) Programas de inversión territorial.

### 17.2 Simplificación de la Gestión Territorial

Es necesario definir con claridad el órgano de gobierno/administración competente y el territorio de intervención para el proyecto piloto. Ambos elementos constituyen lo que se denomina ámbito de gestión territorial.

### 17.3 Institucionalidad y Coherencia

La inversión en el territorio, hasta la fecha, se desarrolla como un proceso disperso y sin un ordenamiento definido. Los programas ministeriales, las acciones de los fondos sociales, municipalidades y demás entidades, carecen de un eje articulador que le aporte coherencia. La ausencia de este eje ha dado lugar a diferentes esfuerzos, entre ellos, el de coordinación de los fondos sociales y el del sistema nacional de inversión pública en forma individual, diluyéndose la capacidad

colectiva de emprender en industrial que generan oportunidades al interior de ellas en múltiples servicios como el turismo. El resultado es un alto porcentaje de economía informal. Por lo tanto, la propuesta de modelo de intervención debe considerar una institucionalidad adecuada y coherente con el objetivo de desarrollo económico territorial de la región de Los Ríos.

#### 17.4 Programas de Inversión Territorial

Entre los diferentes ámbitos de gestión territorial, las competencias intergubernamentales no se encuentran claramente articuladas, por lo que esta es una necesidad que conviene atender para llegar a soluciones que requieren a más de una Institución.

**A modo de ejemplo, el acceso a “saneamiento básico” cruza a; Municipios, Ministerio de Desarrollo Social y entre otros a la Dirección de Turismo municipal. En este sentido, no puede haber capacitación ni entrega de fondos para el desarrollo de emprendimientos turísticos si el beneficiario no tiene saneamiento básico.**

La inversión en el territorio, en este contexto, es una tarea compleja si se plantea como un objetivo de lograr una coordinación efectiva para superar la ya señalada dispersión de instituciones, funciones, recursos y voluntades políticas.

Esta propuesta, por tanto, sugiere una clasificación amplia de las acciones de inversión, en programas que en conjunto sean capaces de impactar favorablemente en el bienestar de la población y debiera ser materia de un estudio para lograr replicar lo que será un “Proyecto Piloto” que integra la industria de la biomasa y agroalimentaria.

#### 17.5 La Biomasa

En nuestro país, la biomasa forestal ha sido objeto de diferentes estudios que se refieren a sus bondades como ERNC. Sin embargo, existiendo una oferta apreciable en la región, no ha sido considerada en proyectos de alto impacto económico y social al no contemplarse herramientas adecuadas que aborden el desarrollo del territorio dando oportunidades a pequeños propietarios rurales, comunidades indígenas y empresarios forestales de la región.

Dentro de sus características podemos distinguir las siguientes:

- ) Es la fuente renovable más estable, única capaz de seguir perfectamente a la demanda.
- ) La biomasa es una fuente gestionable, a diferencia del resto de las ERNC.
- ) Dado su proceso productivo, es la fuente renovable que más empleos genera por unidad de energía producida.

- ) Su cultivo permite incorporar a la base forestal existente, una alternativa económica nueva. La energía de biomasa.
- ) Se puede establecer en suelos degradados que no generan renta.

El modelo de generación aportaría energía térmica, en forma de calor, como insumo, como, por ejemplo, para proyectos agroalimentarios, tales como;

- ) Secado de frutas.
- ) Congelados.
- ) Instalación de invernaderos con ambientes controlados.
- ) Producción de conservas con tecnología de envasado Stand Up Pouch.
- ) Secado de madera en cámaras para la exportación.
- ) Secado de madera para mercado nacional.
- ) Secado de leña para consumo domiciliario.
- ) Calefacción distrital para entidades públicas.
- ) Calefacción distrital domiciliaria.

## 18. El Modelo Negocio

### 18.1 Concepto

Se propone un modelo que hemos denominado Dual para el desarrollo local sustentable.

**El modelo integra acciones en favor del desarrollo productivo en dos direcciones: “desde arriba” y “desde abajo”.**

La estrategia por promover “desde arriba” es aprovechar que industrias presentes en el territorio que tienen niveles de competitividad en los mercados mundiales y desarrollo tecnológico “traccionen” el desarrollo abriendo oportunidades de inversión.

La estrategia “desde abajo” apunta directamente al nivel local, identificando, promoviendo, facilitando y participando en las actividades de creación de riqueza dirigidas al mercado más adecuado: local o regional, nacional o global, mercados de nicho basados en las ventajas locales.

En la región, la industria forestal de las ERNC y la agroindustria cumplen los requisitos de innovación y competitividad. Sin embargo, la industria forestal es una industria madura y la oferta de empleo es decreciente en el tiempo por unidad producida. La industria de las ERNC e hidroeléctricas que invierten la región no son demandantes de mano de obra en régimen de producción. La producción agroalimentaria gracias a las Tecnologías de la Información y la Comunicación, TIC, y cambio de hábitos de consumidores no requiere escala para llegar a mercados demandantes y es intensiva en mano de obra de baja y mediana calificación.

Con lo anterior, la acción “desde abajo” se dedicaría a la reducción de la pobreza a partir de la inversión y la acción “desde arriba” a la activación y fortalecimiento de los motores de crecimiento de la economía territorial. El desafío social y crear la oportunidad utilizando el músculo de las industrias mencionadas como palanca de oportunidades para los pequeños productores y comunidades incrementando la renta sustentable de largo plazo para la industria interviniente.



## **18.2 Modalidad**

Se propone elegir un proyecto piloto con ventajas comparativas además de la presencia de capital empresarial, laboral social e institucional para generar una inversión de base forestal como la cogeneración de energía que impulse iniciativas asociativas en las industrias asociadas.

Deberá cumplirse en la fase evaluación con protocolos ambientales, económicos y sociales en el caso de presencia de comunidades originarias, propuesta de valor territorial en el campo asociativo, evaluación de capacidades organizacionales de los colectivos generados, evaluación técnica de alternativas de inversión, entre otros aspectos.

Se recomienda la definición de matriz de tomadores de riesgos y eventuales socios para crear Alianzas Productivas bajo el modelo del Banco Mundial entre otras actividades.

## 19. Modelo de Gestión y Estrategia de Inversión

Objetivo de la sección del documento: Generar modelos de negocios y/o planes de inversiones público privada donde se analicen las alternativas de valorización energéticas más factibles de desarrollar.

### 19.1 Resumen Diagnostico

A continuación, la Tabla 104 presenta un resumen diagnóstico, que considera la diversidad de situaciones y casos existentes de utilización conjunta de biomasa para la producción de energía y alimentos y las inmensas posibilidades existentes en la región de Los Ríos. Esta información, se elabora en base a la información cuantitativa y cualitativa de los informes anteriores presentados en la presente consultoría.

Aspectos	Puntos Fuertes, Ventajas y Fortalezas	Puntos Débiles, Desventajas y Riesgos
<b>Ambientales</b>	Puede integrarse con procesos de recuperación ambiental, principalmente cuando corresponden a la utilización de subproductos de procesos productivos.	Puede promover las plantaciones extensivas y reducir la biodiversidad. Puede emitir partículas en la combustión.
<b>Socioeconómicos</b>	Ayuda a la generación de empleo en las áreas rurales. Favorece a mejorar las inversiones y a reducir las desigualdades. Presenta normalmente una menor inversión inicial en comparación con otros sistemas de generación de energía. En nuestra región es más competitividad frente a combustibles fósiles, particularmente en el contexto agroindustrial. Pueden existir formas nuevas de financiamiento para el suministro energético en localidades aisladas.	Existe una variedad de actores involucrados, poca o nada articulada. No existe una valorización clara del recurso y los precios son definidos por el mismo agente. Aun los sistemas de generación a biomasa, ERNC, presentan en general costos de inversión comparativamente más elevados que los sistemas convencionales basados en energía fósil. El costo de transporte tiene una fuerte incidencia financiera en la factibilidad. Las distancias factibles en términos económicos entre los sitios de producción y uso son inferiores a 120 km.
<b>Tecnológicos</b>	Existe la tecnología disponible y probada para su uso racional y diversificado en sus diversas formas. Gran parte de los equipos necesarios pueden ser adquiridos localmente. Existencia de variadas soluciones de tecnologías y condiciones para su uso.	Los sistemas de generación a partir de biomasa requieren comparativamente más mantenimiento en la operación. La estandarización de la materia prima es clave; en tamaño, alta humedad o baja densidad del biocombustible. La mala calidad de la materia prima puede requerir altas inversiones en sistemas de preparación previa.
<b>Institucionales</b>	A nivel internacional, y Chile no es la excepción, se han realizado cambios institucionales en el sector energético que estimulan la producción privada de energía e indirectamente, el uso de la biomasa energética.	Los marcos institucionales aún son ineficientes para estimular la producción y utilización racional de la biomasa como fuente de energía. La información técnica disponible para la toma de decisiones no permiten fundamentar acciones y definir estrategias para el uso de la biomasa como fuente de energía.
<b>Capacitación y Difusión</b>	Si bien hay personas e instituciones capacitadas, la coordinación y articulación aun es débil. Las universidades, instituciones y los servicios han mejorado la comunicación y difusión del uso de la biomasa. El conocimiento y la tecnología del uso de la biomasa son más accesible que otras ERNC.	Los sistemas de información disponibles aún son débiles. Aún persisten prejuicios para la utilización de la biomasa por falta de conocimiento. No se conocen las oportunidades de sustentabilidad, de empleabilidad y de aporte al desarrollo local rural de la biomasa como fuente de energía.

Tabla 104 Diagnostico de condiciones de desarrollo de biomasa energética (Forestal, 2018)

### 19.1.1 Causas

- ) Falta de incentivos para el uso de la biomasa como fuente de energía.
- ) Cultivos energéticos poco desarrollados.
- ) Reticencia de parte del sector forestal a la apertura al mercado energético, lo que ha provocado la falta de biomasa en cantidades, calidades y precios adecuados.
- ) Precio de las energías alternativas más competitivas.
- ) Imposibilidad de garantizar el adecuado suministro a medio y largo plazo a las plantas de biomasa por la inexistencia de un mercado desarrollado de logística de biomasa.
- ) Falta de normativas y competencia con otros combustibles más desarrollados.

### 19.1.2 Propuestas de Acción

- ) Trabajar en una propuesta legislativa para fomentar el uso de las energías renovables, incluyendo la biomasa, en calefacción y refrigeración.
- ) Mejora de la reglamentación/normativa de construcción de edificios para incrementar los incentivos al uso de energía renovable.
- ) Mejora de los resultados de las calderas de biomasa domésticas y reducción de la contaminación.
- ) Fomentar y desarrollar un proyecto piloto regional de calefacción distrital
- ) Estudio y desarrollo de sistemas silviculturales para biomasa con fines energéticos.
- ) Desarrollar un plan de difusión en agricultores y propietarios forestales sobre las propiedades de los cultivos energéticos y las oportunidades que ofrecen.
- ) Estudio y desarrollo de un programa de cultivos energéticos y la optimización de los sistemas de aprovechamiento de los residuos -agrarios, forestales o fracción orgánica de los RSU en la comuna de Valdivia.
- ) Desarrollar indicadores de empleabilidad y sello “biomasa” del uso de la biomasa forestal como fuente de energía renovable.

El plan debería estar coordinado por el Gobierno Regional de Los Ríos, la división de Fomento e Industria, con la participación de al menos los siguientes, servicios públicos:

- ) Seremi de Energía.
- ) Seremi de Economía.
  - o Sercotec.
  - o Corfo.

- ) Seremi de Medio Ambiente.
- ) Seremi de Agricultura.
  - o Conaf.
  - o Infor.
- ) Corporación Regional de Desarrollo Productivo.
- ) Asociación Regional de Municipios.

## 20. Estrategia de Desarrollo

Considera escenarios de implementación y plazos de ejecución. Esta estrategia tiene como elementos claves de orientación:

- ) Definición de proyectos energéticos factibles de desarrollar.
- ) Definición de la estrategia de desarrollo.

### 20.1 Principios Generales

Los principios generales que la orientan son:

- ) Integración de la biomasa dentro de la planificación regional.
- ) Ampliar la mirada del aprovechamiento de la biomasa en el sector maderero actual.
- ) Biomasa como recurso de interés social que es capaz de contribuir al desarrollo local.
- ) Diversificación energética y uso de recursos renovables locales.
- ) Innovación tecnológica y de negocios asociados a la biomasa.

### 20.2 Ámbito de Aplicación

Los principales ámbitos de actuación son:

- ) Ámbito territorial: región de Los Ríos
- ) Ámbito social e institucional: incluye a los stakeholders del sector tales como empresas, propietarios, sector público, hogares, Pymes, entre otros.
- ) Ámbito temporal: la implementación se debería extender por 10 años. Con un horizonte intermedio de evaluación.

### 20.3 Objetivos

El **objetivo general** es el Aprovechamiento Sostenible de la Biomasa Forestal de la región de Los Ríos a través de, fomentar el aprovechamiento de la biomasa con fines energéticos, como fuente de energía renovable, gestionable y capaz de generar múltiples efectos positivos sobre el desarrollo local de las localidades de nuestra región.

En consecuencia, se persigue los siguientes **objetivos específicos**:

- ) Puesta en valor de la biomasa forestal, desechos y residuos.
- ) Apoyar la gestión integrada de desechos y residuos de la producción forestal de plantaciones, BN y la industria maderera regional.
- ) Contribuir a la diversificación de la matriz energética regional y el aprovechamiento de la biomasa como fuente de generación de energía renovable y sustentable.
- ) Incentivar la creación de empleo y desarrollo socio económico sostenible en los territorios de nuestra región y en los sectores productivos asociados a la cadena de valor.
- ) Mejorar el conocimiento técnico, el avance tecnológico y la I+D+i en materia de generación de energía a partir de biomasa forestal.

**Objetivos de índole operativos:**

- ) Identificar las barreras administrativas, técnicas, económicas y sociales limitantes para el desarrollo de la biomasa como fuente de generación de energía.
- ) Elaboración de set de propuesta que incentiven el aprovechamiento del recurso.
- ) Facilitar el desarrollo de un mercado regional competitivo y sostenible del recurso.
- ) Facilitar la integración, la interacción y la colaboración con la institucionalidad regional y la administración local.

#### **20.4 Estructura de la Estrategia de Desarrollo**

Las propuestas para el Aprovechamiento Sustentable de la Biomasa se organizan en **4 líneas estratégicas**, es decir, temas claves para pasar de la situación actual a la situación deseada en los objetivos. La Figura 102 presenta esta estructura.

A su vez, las líneas estratégicas se organizan en **11 programas** concebidos para articular acciones dirigidas a la consecución de un objetivo específico dentro de cada línea.

Por último, los programas agrupan un conjunto de **21 acciones** que consisten en medidas o instrumentos concretos a implementar para contribuir a la realización.

La Estrategia Regional de Aprovechamiento Sostenible de la Biomasa Forestal del Principado de Asturias define cuatro líneas estratégicas considerando tanto el contexto forestal y energético del Principado de Asturias, como la propia naturaleza de las medidas y su relación con los principales aspectos que tienen capacidad para influenciar la oferta y la demanda final del recurso biomásico. Estas cuatro líneas son las siguientes:



- 1.- Línea de Adecuación Normativa y Mejoras Administrativas:** tiene como propósito desarrollar propuestas necesarias para actualizar y adecuar el marco regulador y los protocolos y procedimientos administrativos, de diversa naturaleza y temática sectorial. En la práctica estos aspectos inciden y condicionan decisivamente los aprovechamientos y los consumos del recurso.
- 2.- Línea de Planificación, Gestión y Aprovechamiento de la Biomasa:** partiendo del actual marco de gestión forestal, esta línea propone mejoras que ayudarán a integrar los aprovechamientos del recurso biomasa para la producción de energía, en concordancia con el resto de las producciones forestales. Los programas y medidas de esta línea son de naturaleza principalmente técnica.
- 3.- Línea de Fomento Directo a la Producción y el Consumo:** el objetivo de esta línea es intervenir de manera directa en los factores productivos del mercado local de biomasa, promoviendo el fomento y desarrollo a los productores, pero también a los consumidores, por medio de incentivos y/o subvenciones a la oferta y/o demanda, para un despegue definitivo de la producción y el consumo. Contiene programas y medidas de fomento.
- 4.- Línea de Actualización Tecnológica, Difusión e Investigación:** el objetivo es mejorar las condiciones de producción, a partir de acciones de investigación, capacitación y actualización tecnológica de los sectores productivos y los profesionales relacionados con la biomasa; a la vez, se opta por incentivar el consumo final a través de medidas de información, concienciación y formación de los stakeholders de la cadena de valor del sector. Contiene programas y medidas de tipo participativas y de I+D+i.

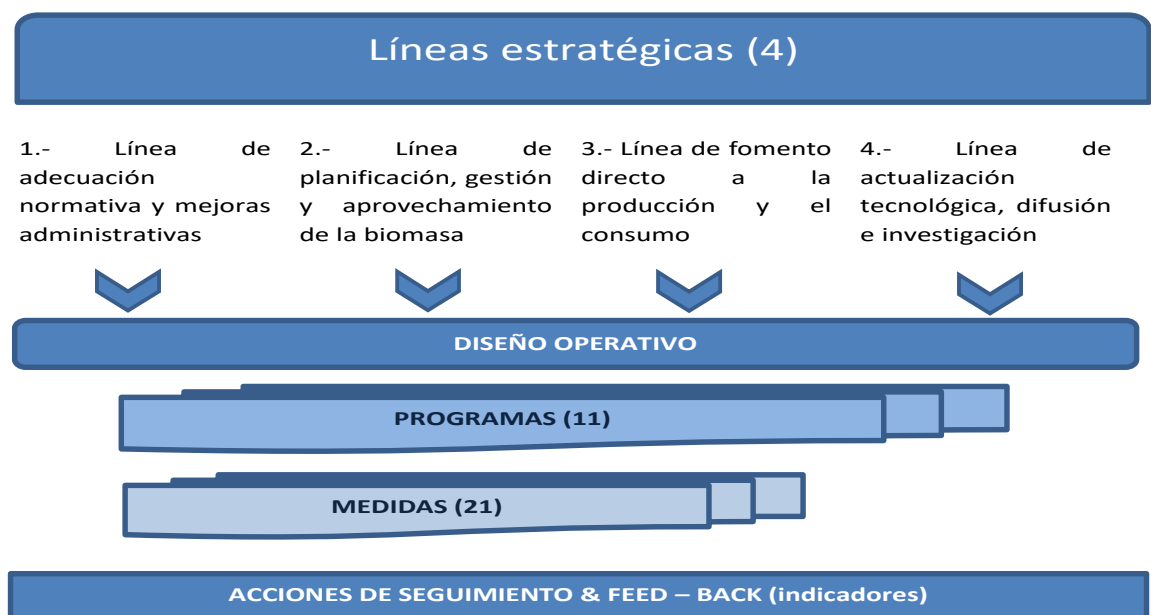


Figura 102 Estructura de la estrategia de desarrollo propuesta (Forestal, 2018)

A continuación, la Tabla 105 presenta un detalle con la descripción de las líneas, programa y acciones posibles de implementar a través de la estrategia de desarrollo propuesta.

Línea	Programa	Acciones
<b>1.- Línea de adecuación normativa y mejoras administrativas</b>	1.1.- Adecuación e implementación de marco normativo regional	1.1.1.- Análisis del marco normativo vigente y propuesta de adecuaciones para fomentar el uso de la biomasa como fuente de generación de energía.
		1.1.2.- Análisis y desarrollo de nuevos esquemas de manejo, para nuevas y/o existentes plantaciones dendroenergéticas para generación de energía.
		1.1.3.- Desarrollo e implementación de un marco regulador, incentivos, para plantaciones dendroenergéticas.
	1.2.- Desarrollo e implementación de nuevas soluciones administrativas	1.2.1.- Desarrollo e implementación de modelos de contrato de aprovechamiento de biomasa a largo plazo, BN y plantaciones 1.2.2.- Elaboración de protocolo técnico regional para el aprovechamiento sustentable de la biomasa residual primaria.
<b>2.- Línea de planificación, gestión y aprovechamiento de la biomasa</b>	2.1.- Planificación y gestión forestal	2.1.1.- Revisión y adecuación de los incentivos/subvenciones para el fomento de gestión de bosques y su producción de biomasa con fines dendroenergéticos.
		2.1.2.- Elaboración de un protocolo, guía, de aprovechamiento de la biomasa forestal para fines dendroenergéticos.
	2.2.- Mejora de la gestión maderera	2.2.1 Elaboración y difusión de un manual de buenas prácticas ambientales y socioeconómicas en el aprovechamiento de la biomasa como fuente de generación de energía.
		2.2.2.- Implementación de un plan de fomento de la certificación maderera de aprovechamiento de la biomasa y su cadena de custodia.
<b>3.- Línea de fomento directo a la producción y el consumo</b>	3.1.- Incentivos y/o subvenciones para el fomento del consumo de biomasa con fines energéticos	3.1.1.- Revisión y adecuación de los programas de ayuda a la adquisición y recambio de calderas de biomasa e instalación de redes de calefacción centralizadas.
	3.2.- Incentivos y/o subvenciones para el fomento de la producción de biomasa con fines energéticos	3.2.1.- Implementación de programas de ayuda directa a la adquisición y recambio de maquinaria forestal para el aprovechamiento de biomasa y su mecanización.
		3.2.2.- Implementación de programas de ayuda directa a la silvicultura en bosques para el aprovechamiento de biomasa en la generación de energía.
	3.3.- Desarrollo e implementación de proyectos demostrativos	3.3.1.- Desarrollo de un proyecto integral de aprovechamiento y uso de biomasa para la generación de energía.
		3.3.2.- Desarrollo de un proyecto de carácter singular

Línea	Programa	Acciones
		y demostrativo para la Pyme maderera regional de aprovechamiento y uso de biomasa para la cogeneración.
<b>4.- Línea de actualización tecnológica, difusión e investigación</b>	4.1.- Capacitación especializada en el sector	4.1.1.- Diseñar e implementar nuevos programas de capacitación, por competencias, para los trabajadores del sector, en operaciones y transformación de biomasa para usos energéticos.
		4.1.2.- Diseñar e implementar un plan de especialización tecnológica y mejora de conocimientos técnicos para los profesionales del sector, jornadas, en operaciones y transformación de biomasa para usos energéticos.
	4.2.- Difusión y sensibilización a stakeholders	4.2.1.- Implementación de una campaña de información y publicitaria para productores
		4.2.2.- Implementación de una campaña de información y publicitaria para consumidores
	4.3.- Proyectos de I+D+i	4.3.1.- Proyectos de investigación y experimentación de nuevas tecnologías
		4.3.2.- Implementación de un plan de trabajo con centros de investigación especialistas en aprovechamiento de biomasa para generación de energía

Tabla 105 Descripción estructura de la estrategia de desarrollo propuesta

## 20.5 Propuesta de Modelo de Gestión de la Estrategia de Desarrollo

### 20.5.1 Actores Públicos Responsables

El plan debería estar coordinado por el Gobierno Regional de Los Ríos, la división de Fomento e Industria, con la participación de al menos los siguientes, servicios públicos:

- ) Seremi de Energía.
- ) Seremi de Economía.
  - o Sercotec.
  - o Corfo.
- ) Seremi de Medio Ambiente.
- ) Seremi de Agricultura.
  - o Conaf.
  - o Infor.
- ) Corporación Regional de Desarrollo Productivo.
- ) Asociación Regional de Municipios.

### 20.5.2 Actores Privados y de la Sociedad Civil Involucrados

El plan debería estar coordinado por el Gobierno Regional de Los Ríos, la división de Fomento e Industria, con la participación de al menos los siguientes, servicios actores privados y de la sociedad civil:

- ) Representantes de gremios asociados
  - Pymemad Los Ríos AG
  - Aprobosque
  - Pro Nitens
  - Corma
  - Otros
- ) Representantes de organizaciones
  - Sistema de certificación de leña
  - Asociación de consumidores
  - Asociación Chilena de Biomasa
  - Otros
- ) Centros de investigación e I+D+i
  - Instituto de Bosque y Sociedad de la facultad de Ciencias Forestales de la UACH.
  - Facultad de Ciencias de la Ingeniería
  - Otros

### 20.5.3 Consideración e Incorporación en Políticas Públicas Regionales/Nacionales

El plan debería estar coordinado por el Gobierno Regional de Los Ríos, la división de Fomento e Industria y en consideración e incorporación de las políticas públicas regionales y nacionales, más relevantes, a continuación, la Tabla 106 presenta un detalle de estas.

Fuente	Instrumento	Año
<b>Gobierno Regional de Los Ríos</b>	Estrategia Regional de Desarrollo (ERD) 2009-2019, región de Los Ríos.	2009
	Política Regional de Turismo 2011- 2014.	2011
	Política Regional de Desarrollo Pesquero y Acuícola, PRDPA, 2013- 2016.	2013
	Política Regional de Desarrollo Silvoagropecuaria 2014 -2018	2014
	Plan de Macro zonificación de Uso del Borde Costero de la región de Los Ríos	Etapa de aprobación
<b>Consejo de Monumentos Nacionales</b>	Polígonos de delimitación o ubicación oficial de la nómina de Monumentos Nacionales y Sitios de Interés Arqueológico, 4 categorías.	
<b>Ministerio del Medio Ambiente</b>	Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, SNASPE.	Según declaratoria
	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.	
<b>SEREMI del Medio Ambiente</b>	Estrategia y Plan de Acción para la Conservación de la Biodiversidad, ERB, región de Los Ríos.	2010
<b>Dirección de Arquitectura, MOP</b>	Diagnóstico del Patrimonio Cultural de la región de Los Ríos.	2010
<b>Dirección de Planeamiento, MOP</b>	Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 de la región de Los Ríos.	2012
<b>Ministerio de Educación</b>	Sitios RAMSAR: Decreto N° 2.734. 04 de julio 1981	1981
	Plan de Desarrollo Urbano y Territorial.	2004
<b>SEREMI MINVU</b>	Instrumentos de Planificación Territorial vigentes y en proceso de actualización: Planes Reguladores Comunales, PRC.	Según Instrumento
	Plan Regulador Intercomunal Borde Costero y Sistema Fluvial de la región de Los Ríos, PRI.	Etapa de aprobación
<b>Ministerio de Bienes Nacionales</b>	Decreto N° 19. Declara Monumento Nacional "Alerce Costero"	
	Decreto N° 9. Declara Parque Nacional "Alerce Costero" modificación.	06/11/2010

Tabla 106 Principales instrumentos para planificación regional del territorio (Forestal, 2018)

#### 20.5.4 Propuesta de Etapas/Fases Claves del Proceso Técnico-Político

Una estrategia de desarrollo de este tipo debe ir acompañada de una propuesta de un proceso político-técnico para traducir la estrategia en una política pública regional con asignación de recursos.

En este sentido, debería contemplar al menos, los siguientes aspectos:

- ) Sociabilización: se debe pensar en la implementación de procesos de sociabilización de la temática y de la necesidad de implementar una estrategia.
- ) Generación de acuerdos: de los distintos stakeholders, así como compromisos empresariales.
- ) Definición de una carta Gantt: en función de planificar el proceso y materialización de acuerdos de la institucionalidad pública. En este sentido, se debe definir a modo de ejemplo, las siguientes acciones:

- Acciones con el Gobierno Regional incluyendo al Intendente y jefe de división de fomento e industria.
  - Acciones y conversaciones con el Fondo de Inversión Estratégica, FIE, el GORE, la Corporación y sus aportes FNDR, el mismo FIC, tanto R, como nacional.
  - Dos actores relevantes, son los ministerios de Energía y de Medio Ambiente, además considerar la participación del ministerio de agricultura, sobre todo pensando en la importancia del aporte de la Conaf y el Infor.
  - Apoyo de los centros tecnológicos, en especial las facultades de Ciencias Forestales y de Ciencias de la Ingeniería.
- J) Generación de acuerdos Público–Privados: en este sentido, el objetivo debe ser la identificación de los principales acuerdos políticos que se deban gestionar, considerando:
- Conformación de una comisión de trabajo en el gobierno regional, liderada y mandatada por el Intendente, que considere a los representantes de ministerios, al equipo técnico del GORE y a los propios consejeros regionales.
  - En este sentido, no se debe dejar de lado, la planificación presupuestaria, en este punto, la política de innovación 2016-2019 se contempla el siguiente financiamiento para un estudio de factibilidad, actividad 1.4 ya atrasados, como se puede ver en Tabla 106.

#### **20.5.5 Propuesta de Posibles Responsables y Líneas de Financiamiento**

A continuación, la Tabla 107 presenta un detalle con la descripción de las líneas, programa y acciones posibles de implementar a través de la estrategia de desarrollo propuesta, con sus respectivas entidades responsables y sus posibles líneas de financiamiento.

Línea – Programa - Acciones	Posible Responsable	Posible Línea Financiamiento
<b>1.- Línea de adecuación normativa y mejoras administrativas</b>		
<b>1.1.- Adecuación e implementación de marco normativo regional</b>		
<b>1.1.1.- Análisis del marco normativo vigente y propuesta de adecuaciones para fomentar el uso de la biomasa como fuente de generación de energía.</b>	M. Energía M. Agricultura Conaf/Infor	FNDR FIC
<b>1.1.2.- Análisis y desarrollo de nuevos esquemas de manejo, para nuevas y/o existentes plantaciones dendroenergéticas para generación de energía.</b>	M. Energía M. Agricultura Conaf/Infor	FNDR FIC
<b>1.1.3.- Desarrollo e implementación de un marco regulador, incentivos, para plantaciones dendroenergéticas.</b>	M. Energía M. Agricultura Conaf/Infor	FNDR FIC
<b>1.2.- Desarrollo e implementación de nuevas soluciones administrativas.</b>		
<b>1.2.1.- Desarrollo e implementación de modelos de contrato de aprovechamiento de biomasa a largo plazo considerando BN y plantaciones.</b>	M. Energía M. Agricultura Conaf/Infor	FNDR FIC
<b>1.2.2.- Elaboración de protocolo técnico regional para el aprovechamiento sustentable de la biomasa residual primaria.</b>	M. Energía M. Agricultura Conaf/Infor	FNDR FIC
<b>2.- Línea de planificación, gestión y aprovechamiento de la biomasa</b>		
<b>2.1.- Planificación y gestión forestal</b>		
<b>2.1.1.- Revisión y adecuación de los incentivos/subvenciones para el fomento de gestión de bosques y su producción de biomasa con fines dendroenergéticos.</b>	GORE M. Energía M. Agricultura Conaf/Infor	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo
<b>2.1.2.- Elaboración de un protocolo, guía, de aprovechamiento de la biomasa forestal para fines dendroenergéticos.</b>	GORE M. Agricultura Conaf/Infor	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo
<b>2.2.- Mejora de la gestión maderera</b>		
<b>2.2.1 Elaboración y difusión de un manual de buenas prácticas ambientales y socioeconómicas en el aprovechamiento de la biomasa como fuente de generación de energía.</b>	M. Energía M. Agricultura Conaf/Infor APL	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo
<b>2.2.2.- Implementación de un plan de fomento de la certificación maderera de aprovechamiento de la biomasa y su cadena de custodia.</b>	M. Agricultura Conaf/Infor APL	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo
<b>2.3.- Mejora de la infraestructura regional para el aprovechamiento de la biomasa.</b>		
<b>2.3.1.- Implementación de un plan de infraestructura regional relacionada con la logística de aprovechamiento de la biomasa en el sector maderero regional.</b>	GORE MOP M. Energía M. Agricultura Infor	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo

Línea – Programa - Acciones	Posible Responsable	Posible Línea Financiamiento
<b>3.- Línea de fomento directo a la producción y el consumo</b>		
<b>3.1.- Incentivos y/o subvenciones para el fomento del consumo de biomasa con fines energéticos</b>		
<b>3.1.1.- Revisión y adecuación de los programas de ayuda a la adquisición y recambio de calderas de biomasa e instalación de redes de calefacción centralizadas.</b>	GORE MINVU M. Energía M. Agricultura Conaf	FNDR MINVU
<b>3.2.- Incentivos y/o subvenciones para el fomento de la producción de biomasa con fines energéticos</b>		
<b>3.2.1.- Implementación de programas de ayuda directa a la adquisición y recambio de maquinaria forestal para el aprovechamiento de biomasa y su mecanización.</b>	GORE M. Agricultura Conaf/Infor	FNDR CRDP Conaf Corfo
<b>3.2.2.- Implementación de programas de ayuda directa a la silvicultura en bosques para el aprovechamiento de biomasa en la generación de energía.</b>	GORE M. Agricultura Conaf/Infor	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo
<b>3.3.- Desarrollo e implementación de proyectos demostrativos</b>		
<b>3.3.1.- Desarrollo de un proyecto integral de aprovechamiento y uso de biomasa para la generación de energía.</b>	GORE M. Agricultura M. Energía Conaf/Infor APL	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo Fosis
<b>3.3.2.- Desarrollo de un proyecto de carácter singular y demostrativo para la Pyme maderera regional de aprovechamiento y uso de biomasa para la cogeneración.</b>	GORE M. Agricultura M. Energía Conaf/Infor	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo Fosis
<b>4.- Línea de actualización tecnológica, difusión e investigación</b>		
<b>4.1.- Capacitación especializada en el sector</b>		
<b>4.1.1.- Diseñar e implementar nuevos programas de capacitación, por competencias, para los trabajadores del sector, en operaciones y transformación de biomasa para usos energéticos.</b>	GORE M. Agricultura M. Energía Conaf/Infor APL	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo
<b>4.1.2.- Diseñar e implementar un plan de especialización tecnológica y mejora de conocimientos técnicos para los profesionales del sector, jornadas, en operaciones y transformación de biomasa para usos energéticos.</b>	GORE M. Agricultura M. Energía Conaf/Infor APL	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo
<b>4.2.- Difusión y sensibilización a stakeholders</b>		
<b>4.2.1.- Implementación de una campaña de información y publicitaria para productores</b>	GORE M. Agricultura M. Energía Conaf/Infor APL	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo
<b>4.2.2.- Implementación de una campaña de información y</b>	GORE	FNDR



Línea – Programa - Acciones	Posible Responsable	Posible Línea Financiamiento
publicitaria para consumidores	M. Agricultura M. Energía Conaf/Infor APL	CRDP FIC Conaf Corfo
<b>4.3.- Proyectos de I+D+i</b>		
<b>4.3.1.- Proyectos de investigación y experimentación de nuevas tecnologías</b>	GORE M. Agricultura M. Energía Conaf/Infor	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo
<b>4.3.2.- Implementación de un plan de trabajo con centros de investigación especialistas en aprovechamiento de biomasa para generación de energía</b>	GORE M. Agricultura M. Energía Conaf/Infor APL	FNDR CRDP FIC Conaf Corfo

Tabla 107 Propuesta de responsables/líneas financiamiento para implementación de estrategia

## 21. Resultados de la Evaluación de Proyectos a Desarrollar en la Región de Los Ríos

De forma simple se puede indicar que los proyectos evaluados, tienen como objetivo transformar un energético en biocombustible sólido como el pellet o la astilla o en una forma de energética útil para las personas, energía térmica y/o electricidad.

Cuatro tipos de proyectos fueron evaluados:

- ) Plantas de Calefacción Distrital.
- ) Plantas de Cogeneración, Pymemad.
- ) Pellets, Pymemad.
- ) Disponibilidad de biomasa, abastecimiento.

Las principales variables consideradas son:

- ) Poder calorífico del biocombustible.
- ) Contenido de humedad del biocombustible.
- ) Eficiencia de los equipos de transformación.
- ) Costos de abastecimiento del biocombustible.
- ) Costo de diésel utilizado en los sistemas calderas.

De lo anterior, se puede apreciar que el biocombustible es una variable crítica en el análisis de la factibilidad técnico/económica de los proyectos, considerando que 3 de las 5 variables de análisis depende de sus cualidades o características.

Por otra parte, la información analizada en los puntos 15 y 16 del presente informe del estudio muestra que no existe un mercado desarrollado de para proveer biocombustible en el formato de astillas, es por esto por lo que en la evaluación económica de los proyectos se utilizó un rango de contenido de humedad y precios para el biocombustible.

## 21.1 Disponibilidad y Abastecimiento

A partir de los resultados del segundo informe de avance, la Tabla 108 presenta un resumen de las principales conclusiones, y los indicadores relevantes de disponibilidad y abastecimiento, para el desarrollo de posibles políticas públicas regionales y/o proyectos piloto.

Conclusiones principales del Segundo Informe, Disponibilidad y Abastecimiento	Indicador relevante
El estudio confirma la disponibilidad de biomasa de residuos de la producción de leña, de residuos de cosecha de plantaciones forestales y residuos de la industria primaria de la madera, en cantidades suficientes y a costos competitivos con otros combustibles para desarrollar proyectos de pequeña y mediana escala usando biomasa, por ejemplo, con necesidades de suministro menor a 30.000 TS/año.	Límite inferior de disponibilidad necesaria de desechos de biomasa para proyectos: 30.000 TS/año.
Los resultados confirman que el aprovechamiento de BN exclusivamente para biomasa con fines energéticos no es viable económicamente por condiciones físicas como fragmentación de la oferta y dispersión respecto de los centros de consumo, y también debido a los mejores precios de combustibles alternativos como la leña.	Residuos Biomasa de: BN; no es viable para cogeneración de energía. Rango de precios: USD 92/TS a USD 122/TS
El aprovechamiento de los residuos de la producción de leña o de otro producto superior que pague los costos de accesibilidad predial y parte de la cosecha, aparece como opción viable, sin embargo, corresponde a una actividad no realizada hasta el momento y por lo tanto su adopción requerirá esfuerzos importantes de información y capacitación. Este escenario abre además la posibilidad de entrada de nuevos actores intermediarios para gestionar esta biomasa. La utilización de los desechos de la industria de la madera, tipo aserrín y corteza, se presentan como la biomasa económicamente más conveniente para proyectos biomásicos de pequeña y mediana magnitud.	Residuos Biomasa de: Desechos de Leña, Cosecha Plantaciones y Residuos Industria; Si es viable para cogeneración de energía. Rango de precios: USD 34/TS a USD 73/TS
El escenario de astillado a orilla de camino es la opción más conveniente para residuos de cosecha, residuos de producción de leña y lampazos. Este método se basa en aprovechar las condiciones ambientales favorables para disminuir el contenido de humedad de la biomasa durante un tiempo de apilado en el predio, antes del astillado y no requiere de inversión en almacenamiento. La recolección mecanizada de residuos se lleva a cabo en superficies mayores a 25 ha para compensar el elevado costo que significa el traslado de equipos. El escenario de astillado centralizado o en planta se presenta como una estrategia relevante para la recolección de residuos en faenas de pequeña o mediana escala, menor a 25 ha, en donde no sea posible realizar el astillado en predio por razones de accesibilidad. Pequeños consumidores ubicados en localidades distantes no compiten entre sí, ya que cada uno preferirá proveedores más cercanos, priorizando aquellos dentro de un radio de transporte de 50 km.	Tamaño predial límite: 25 ha Costos de Transporte Distancias promedio factibles; Lampazos: 50 km Residuos de plantaciones: 90 km Otros residuos con astillado a orilla de camino: 120 km a 150 km Distancia media óptima de residuos: 50 km a 75 km

Conclusiones principales del Segundo Informe, Disponibilidad y Abastecimiento	Indicador relevante
<p>La biomasa residual tiene otras opciones de uso como la fabricación de tableros, biocombustibles sólidos y leña, no obstante, la disponibilidad teórica de biomasa en la región de Los Ríos sugiere que no existe riesgo de competencia en el corto y mediano plazo entre usos tradicionales de la madera con potenciales nuevos proyectos usando biomasa.</p> <p>Finalmente, y respecto de las estimaciones de disponibilidad teórica y de los escenarios de utilización potencial, las principales incertidumbres están relacionadas con el número de productores que estarán dispuestos a participar en un nuevo mercado de suministro de biomasa.</p> <p>En circunstancias en que aún no existe un costo de oportunidad nítido, sobre todo para el productor de leña, queda la duda si éste estará dispuesto a traspasar sin beneficio sus residuos.</p> <p>Respecto de la industria primaria de la madera también existe incertidumbre en relación con las disponibilidades futuras reales de residuos, considerando que éstas actualmente utilizan una fracción para autoconsumo.</p> <p>Todas estas incertidumbres tienen relación principalmente con el estado incipiente del mercado de la biomasa en la región de Los Ríos.</p>	<p>Considerando un precio de la biomasa residual de: USD 40/TS Habría una disponibilidad de: 139.000 TS/año</p> <p>Disponibles para proyectos de cogeneración de energía. Límite inferior de disponibilidad necesaria de desechos de biomasa para proyectos: 30.000 TS/año.</p>

Tabla 108 Indicadores relevantes de disponibilidad y abastecimiento (FCI, 2018)

## 21.2 Comparación de Proyectos Evaluados

Si bien los proyectos tienen distintos niveles de alcance en la evaluación técnico/económica, con la información de cada tipo de proyecto presentada en el punto 11 del presente informe del estudio se realizará una matriz de comparación. Para construir la matriz de comparación se definirán las variables a comparar en función de la información disponible en el estudio de prefactibilidad desarrollado. Las variables de comparación serán las siguientes y la Tabla 109 presenta una comparación de estas:

- ) Tipo de insumo primario: representa el tipo de biomasa que requiere el sistema de transformación en una forma de energía útil que en este caso puede ser un biocombustible sólido, energía térmica y/o eléctrica.
- ) Rango de precio del insumo primario: rango de precio por tonelada.
- ) Nivel de desarrollo de la tecnología:
- ) Nivel de inversión de la tecnología: inversión en relación con la capacidad de producción.

Tipo de Proyecto	Tipo de Insumo Primario	Nivel de Consumo de Insumo Primario (ton/año)	Precio Promedio Insumo Primario	Nivel de Desarrollo de la Tecnología	Nivel de Inversión de la Tecnología (Neto)
<b>Calefacción distrital – Proyecto Miraflores</b>	Astillas Aserrín	177	USD 64/TS Astilla	Tecnología comercialmente disponible	USD 351.658
<b>Puesta en servicio de cogeneración Aserraderos Timberni</b>	Astillas Aserrín	1.802	USD 26/TS Aserrín	Tecnología comercialmente disponible	USD 81.967
<b>Plantas Pellets</b>	Aserrín	4.200	USD 26/TS Aserrín	Tecnología comercialmente disponible	USD 358.000
<b>Optimización Planta Pellets Aserraderos Collico</b>	Aserrín	666 – Secador	USD 26/TS Aserrín	Tecnología comercialmente disponible	USD 72.553
		4.200 – Pellets	USD 26/TS Aserrín		
<b>Disponibilidad Biomasa Planta Cogeneración Arauco – Abastecimiento</b>	Astillas Aserrín	94.900	USD 26/TS Aserrín	Tecnología comercialmente disponible	S/I

Tabla 109 Comparación de proyectos evaluados (FCI, 2018)

Como puede observar en la Tabla 109, el insumo principal de los proyectos evaluados es astillas y/o aserrín, biocombustibles sólidos que pueden ser obtenidos de los residuos de la industria primaria de la madera o partir de bosques manejados. Los proyectos tienen distintos requerimientos operacionales, los sistemas se pueden dividir en operación estacional, sistema de calefacción distrital, y de operación continua durante el año, esta diferencia tiene efecto sobre el consumo insumo primario y es la causa principal de que el sistema de calefacción distrital tenga un menor consumo. Las tecnologías necesarias para la implementación de los proyectos se encuentran en el mercado y son utilizadas actualmente.

Considerando los proyectos que se pueden realizar en la región utilizan como insumos principal astillas, siendo una de las principales variables para asegurar la viabilidad económica de los proyectos, se requiere desarrollar su mercado, normativa que asegurar su calidad y seguridad de suministro.

## 22. Recomendaciones de Implementación de Iniciativas Piloto

La siguiente sección busca entregar las recomendaciones necesarias para poder lograr la implementación de una planta piloto basado en el desarrollo y resultados de prefactibilidad de los proyectos evaluados en este estudio. Las recomendaciones se han segregado de acuerdo con consideraciones técnicas, ambientales, económicas y de gestión.

Plantas de pelletizado existen en la región de Los Ríos por lo que considerar un pilotaje de este tipo de proyectos no representa ninguna innovación.

Plantas de Cogeneración han sido evaluadas de ser implementadas en la región de Los Ríos (Bioenergía de Los Ríos S.A., 2015) pero con alcances superiores a la planta desarrollada en este estudio. La planta de cogeneración para Aserraderos Timberni S.A. es una readaptación de una planta de cogeneración existente por lo que su consideración como piloto no es más que un proceso de optimización de procesos y servicios ya instaurados que no permiten una extrapolación de estos ya que solo son para autoconsumo.

Plantas de Calefacción Distrital han sido estudiadas y evaluadas y de acuerdo con los resultados de los estudios de prefactibilidad son plantas que pueden ser extra en interpoladas de acuerdo con los requerimientos y condiciones iniciales. Los casos de la UACH son significativos para demostrar que la ejecución de un proyecto de este tipo puede ser replicado de acuerdo con los alcances y requerimientos del beneficiario. Tres casos fueron presentados bajo escenarios disímiles pero que mostraron una convergencia favorable tanto técnica, económica y medioambientalmente.

De acuerdo con este análisis el desarrollo de esta sección estará focalizado en consideraciones acotadas para el establecimiento de una planta de calefacción distrital piloto.

### 22.1 Consideraciones Técnicas

Las consideraciones técnicas que se recomiendan para la implementación de una planta de calefacción distrital piloto se han desarrollado en base a los proveedores de equipamiento, a la ubicación de la planta y a la logística del suministro de biocombustible.

### **22.1.1 Proveedores de Equipamiento**

De acuerdo con los resultados de la prospección de tecnologías asociadas al desarrollo de plantas de calefacción se optó por considerar, para el caso del equipamiento principal, calderas<sup>32</sup> bajo estándares europeos con presencia en el mercado nacional y para el caso del equipamiento auxiliar, equipamiento bajo estándares europeos, pero fabricados en Chile<sup>33</sup>.

En ambos casos, se consideró como la selección óptima ya que, para el caso del equipamiento principal, los procesos post instalación son llevados a cabo por personal calificado nacional y para el caso del equipamiento auxiliar se propicia el desarrollo productivo de la región de Los Ríos ya que los equipos son completamente fabricados localmente. Los procesos post instalación son llevados a cabo por personal calificado nacional de las mismas industrias fabricantes de los equipos auxiliares.

### **22.1.2 Ubicación de la Planta**

La ubicación de la planta de calefacción distrital piloto ha sido considerada de acuerdo con el tamaño y potencia instalada y a la ubicación de la disponibilidad de biocombustible de acuerdo con los resultados presentados en el Informe 1 de este estudio.

La planta de calefacción distrital es una planta pequeña que fue desarrollada en base a estudios preexistentes respecto a capacidades y viabilidad de reemplazo de, por ejemplo, consumo de biocombustibles en desmedro de combustibles fósiles, petróleo diésel. La ubicación de la planta desde el punto de vista técnico ofrece ventajas logísticas para su mantención preventiva y correctiva ya que el personal calificado se encuentra en la ciudad de Valdivia.

Desde el punto de vista de la ubicación de la disponibilidad de biocombustible, la ubicación de la planta se encuentra dentro del radio de 200 km que concluido como el radio máximo de obtención de biocombustible que permitiría la factibilidad del proyecto, pero considerando los 120 km de radio como el óptimo.

---

<sup>32</sup> Incluye todos los accesorios de control y operación del equipo y periféricos, así como también el transporte, la instalación, puesta en marcha y posteriores procesos de mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

<sup>33</sup> Empresas locales de la región de Los Ríos con experiencia en la fabricación de, por ejemplo, sistemas de cañerías y estanques inerciales.

### **22.1.3 Logística del Suministro de Biocombustible**

La logística del suministro de biocombustible ha sido considerada de acuerdo con las capacidades de almacenamiento de este en la planta. Al ser una planta piloto de menor tamaño los consumos son bajos por lo que las capacidades de almacenamiento del suministro se han predispuesto para evitar sobre acumulación que genera efectos sobre la calidad y la seguridad del almacenaje y de la planta en sí. La acumulación de grandes cantidades de biocombustible genera gases combustibles que propician un ambiente inflamable.

La ubicación de la planta juega un rol fundamental en las consideraciones técnicas de la logística del suministro ya que un flujo de camiones impactará a los alrededores del emplazamiento de la planta, para solucionar este aspecto se ha considerado un sistema de suministro en horario vespertino al finalizar el segundo turno de servicio de la planta.

### **22.2 Consideraciones Ambientales**

Las consideraciones ambientales para recomendar la implementación de una planta de calefacción distrital piloto están asociadas directamente al desarrollo de un estudio o una declaración de impacto ambiental.

De acuerdo con el tamaño de la planta, una DIA será necesaria pero cuando se analiza que la ubicación es una zona urbana se podría llevar a cabo un EIA. Ante esta condición y de acuerdo con los procesos a llevar a cabo, tanto en una DIA como en un EIA, se ha considerado llevar a cabo estudios de impacto específicos para aquellas emisiones que pudiesen afectar al medioambiente y a la salud de las personas mayoritariamente.

Las emisiones consideradas en esta etapa corresponden al MP, tanto grueso, MP 10, como fino, MP 2.5. Para el caso del MP 10 los estudios deben demostrar que su generación no sobrepase los límites permitidos por la SEREMI de Salud y que se han presentado como planes de control y abatimiento de este tipo de MP en este estudio y en particular en la sección 14 Evaluación de Factibilidad Ambiental de este informe.

Para el caso de MP 2.5, se procede de la misma forma que para el MP 10 pero con la salvedad de que la planta de calefacción piloto contara con un sistema integrado de abatimiento de este independiente de la normativa que controla las cantidades emitidas a la atmosfera. La planta trabaja bajo estándares altos en el abatimiento del MP 2.5 que es una emisión que se genera inherentemente por la composición del biocombustible que se usara en la planta.



### **22.3 Consideraciones Económicas**

Los resultados de prefactibilidad presentados en este estudio viabilizan la consideración de la implementación de una planta de calefacción distrital piloto, en donde los costos del biocombustible hacen que los ahorros respecto al uso de petróleo diésel permitan su consideración como la óptima.

El uso de biocombustible biomásico permitirá generar un modelo de negocios acorde para la industria primaria de la madera en la región de Los Ríos, Pymes. La inclusión de las Pymes propiciaría además un nexo con el beneficiario de la planta donde se podrá desarrollar un plan que permita la sustentabilidad del proyecto y la capacidad de poder replicar el piloto en otras instituciones tanto públicas como privadas.

## Referencias

### Uncategorized References

ACERA. 2017. *Asociación Chilena de Energías Renovables*, [Online]. Chile. Available: <http://www.acera.cl/> [Accessed Noviembre 2017].

ACUÑA, E.; CANCINO, J.; RUBILAR, R. & SILVA, L. 2017. Volume, Physical Characteristics and Costs of Harvest Residue Utilization of *Pinus Radiata* as an Energy Source. [www.custoseagronegociosonline.com.br](http://www.custoseagronegociosonline.com.br), 13, 442-463.

ACHBIOM. 2018. *Asociación Chilena de Biomasa* [Online]. Santiago, Chile. Available: <http://achbiom.cl/> [2018].

AFOA. 2016. *Asociación Forestal Argentina* [Online]. Buenos Aires, Argentina: Asociación Forestal Argentina. Available: [https://www.afoa.org.ar/mision\\_y\\_objetivos.php](https://www.afoa.org.ar/mision_y_objetivos.php) [2017].

AGENCIA EXTREMEÑA DE LA ENERGIA 2008. La Biomasa Forestal. In: PROGRAMA EMPLEA VERDE, U.E., FUNDACION BIODIVERSIDAD (ed.). España: Agencia Extremeña de la Energia.

ALKANGAS, E. & PAJU, P. 2002. Wood Pellets in Finland - Technology Economy and Market. *Energy, Environment, Sustainable Development*. Finland: Organisation for the Promotion of Energy Technologies.

AMIGO BORGEAU, P.A. 2011. *Estudio de Prefactibilidad para la Implementación de una Planta Briquetadora en el Aserradero de la Empresa Salfa de Punta Arenas*. Ingeniero en Mecánica Industrial, Universidad de Magallanes.

ARAUCO. 2018a. *Planta Cogeneración Arauco, Valdivia* [Online]. Santiago, Chile. Available: <http://www.arauco.cl/chile/sostenibilidad/cambio-global/>.

ARAUCO 2018b. Presentación Planta Valdivia. In: ARAUCO, P.C. (ed.) *Planta Valdivia*. Lecaros, P.

ARCGIS. 2018. *The Mapping & Analytics Platform*, [Online]. Available: <http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis>.

BAHAMONDES LEVIO, M. 2015. *Formulacion y Evaluacion de Proyecto de Fabrica de Pellets de Madera en la Region de Los Lagos*. Ingeniero Civil Industrial, Universidad Austral de Chile.

BCN. 1994. *Ley 19.300 - Aprueba Ley Sobre Bases Generales del Medio Ambiente*. [Online]. Valparaíso, Chile: Congreso Nacional Available: <https://www.leychile.cl/Consulta/> 2018].

BCN. 2010. *Ley 20.417 - Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente*. [Online]. Valparaíso, Chile: Congreso Nacional. Available: <https://www.leychile.cl/Consulta/> 2018].

BCN. 2011. *Decreto 12 - Establece Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP 2.5* [Online]. Valparaíso, Chile: Congreso Nacional. Available: <https://www.leychile.cl/Consulta/> 2018].

BCN. 2012. *Ley 20.600 - Crea los Tribunales Ambientales*. [Online]. Valparaíso, Chile: Congreso Nacional. Available: <https://www.leychile.cl/Consulta/> 2018].

BCN. 2014. *Ley 20.780 - Reforma Tributaria que Modifica el Sistema de Tributación de la Renta e Introduce Diversos Ajustes en el Sistema Tributario*. [Online]. Valparaíso, Chile: Congreso Nacional. Available: <https://www.leychile.cl/Consulta/> 2018].

BCN. 2016a. *Decreto 25 - Establece Plan de Descontaminación Atmosférica para la Comuna de Valdivia* [Online]. Valparaíso, Chile: Congreso Nacional. Available: <https://www.bcn.cl/> 2018].

BCN. 2016b. *Ley 20.880 - Sobre Probidad en la Función Pública y Prevención de los Conflictos de Intereses*. [Online]. Valparaíso, Chile: Congreso Nacional. Available: <https://www.leychile.cl/Consulta/> 2018].

BCN. 2016c. *Ley 20.899 - Simplifica el Sistema de Tributación a la Renta y Perfecciona Otras Disposiciones Legales Tributarias* [Online]. Valparaíso, Chile: Congreso Nacional. Available: <https://www.leychile.cl/Consulta/> 2018].

BCN. 2018. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile* [Online]. Valparaíso, Chile: Congreso Nacional Available: <https://www.bcn.cl/> 2018].

BELLOLIO, R. & KARELOVIC, P. 2011. Energía de Biomasa Forestal, Lecciones Internacionales y su Potencial en Chile. In: BARRÍA, C. (ed.) *Informe Final*. Santiago, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.

BERTRÁN, J. & MORALES, E. 2008. Potencial de Biomasa Forestal. In: ENERGÍA, C.N.D. (ed.) *Potencial de Biomasa Forestal por Residuos del Manejo Forestal en Chile*. Santiago, Chile: Comisión Nacional de Energía (CNE)

Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.

BIO PATAGONIA. 2018. *Biopatagonía Climatización Sustentable* [Online]. Valdivia, Chile. Available: <http://www.biopatagonia.cl/>.

BIOCOMSA 2015. Consorcio Tecnológico de Biocombustibles S.A. - BIOCOMSA. In: CORFO, I. (ed.). Santiago, Chile: Ministerio de Energía, Gobierno de Chile.

BIOENERGÍA DE LOS RÍOS S.A. 2015. Declaración de Impacto Ambiental Planta de Cogeneración Bioenergía de Los Ríos. In: PORFIT GUTIERREZ, D.F. (ed.). Valdivia, Chile: Infodema.

BURGOS-OLAVARRÍA, F.; GUINEO, C.; ROCHA, C.; PELZ, S. & STEINBRINK, J. 2015. Energetic and Physical Characterization of Southern-Chilean Forest. ResearchGate.

CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCION S.A. 1997. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Valdivia. Valdivia, Chile: Celulosa Arauco y Constitución S.A.,.

CIFES 2016. Estudio de Caracterización del Mercado de Biomasa como Fuente de Energía Térmica entre las Regiones de O'Higgins y Aysén. In: PARTNERS, J.O.R.S.-H.A.A. (ed.). Santiago, Chile: Centro de Innovación y Fomento Energías Sustentables (CIFES).

COFRÉ GUERRERO, J.E. 2014. *Estudio de Pre-factibilidad Técnico-Económica para un Proyecto Integrado de Climatización en Base a Biomasa, para los Edificios 8000, 9000 y 10000 de la Universidad Austral de Chile*. Ingeniero Civil Mecánico, Universidad Austral de Chile.

COLUN. 2018. *Cooperativa Agrícola y Lechera de La Unión Limitada*, [Online]. Santiago, Chile: Colun. Available: <http://www.colun.cl/>.

COLLICO. 2018. *Aserraderos Collico Limitada*, [Online]. Valdivia, Chile. Available: <http://www.aserraderoscollico.cl/> 2018].

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA 2007. Proyecto de Biomasa - Guía para la Evaluación Ambiental Energías Renovables No Convencionales. In: COOPERACIÓN TÉCNICA ALEMANA, C.N.D.M.A., COOPERACIÓN INTERGUBERNAMENTAL CHILE - ALEMANIA (ed.). Santiago, Chile: Gobierno de Chile.

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA 2016. Anuario Estadístico de Energía 2016. In: ENERGÍA, C.N.D. (ed.). Santiago, Chile: Ministerio de Energía.

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA 2017. Reporte Mensual ERNC - CNE - Volumen N°13 Septiembre 2017. Santiago, Chile: Gobierno de Chile.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE 2009. Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Fuentes Fijas y Móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. In: CONAMA, D.D.C.D.L.C.D. (ed.). Santiago, Chile: Gobierno de Chile.

CONAF 2016. Normativa Forestal - Aplicable a la Evaluación y Fiscalización Forestal. In: AGRICULTURA, M.D. (ed.). Santiago, Chile: Corporación Nacional Forestal.

CONAF. 2017. *Corporación Nacional Forestal* [Online]. Santiago, Chile: Gobierno de Chile. Available: <http://www.conaf.cl/> 2017].

COORDINADOR ELÉCTRICO NACIONAL 2017. Informe Mensual Coordinador Eléctrico Nacional - Noviembre 2017. In: ENERGÍA, C.N.D. (ed.) *Informe Mensual*. Santiago, Chile.

COPEC S.A. 2018. *Compañía de Petróleos de Chile COPEC S.A.* [Online]. Available: <http://ww2.copec.cl/>.

CORMA. 2018. *Corporación Chilena de la Madera* [Online]. Santiago, Chile: CORMA. Available: <http://www.corma.cl/perfil-del-sector/productos/consumo-y-produccion> 2018].

CHAIN, N.S. 2007. *Proyectos de inversión: formulación y evaluación*, Pearson Educación.

DMT 2010. Fuels. In: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (ed.). Madrid, Spain: Universidad Politécnica de Madrid,.

EBP CHILE SPA 2016. Estrategia Energética Local de Temuco. In: WALTHER, R.; MORALES, F. & ELTON, M. (eds.) *Comuna Energética*. Santiago, Chile: Embajada Suiza / Municipio de Temuco.

EBP CHILE SPA 2017. Estudio de Prefactibilidad Sistema de Calefacción Distrital y Cogeneración para el Campus Isla Teja de la UACH. In: MORALES, F.; DE LA CERDA, C.; EGGEN, B.; SAEZ, S. & WALTHER, R. (eds.). Santiago, Chile.

EL INVERSOR. 2006. *El Inversor Energetico y Minero* [Online]. Buenos Aires, Argentina. Available: <https://www.inversorenergetico.com.ar/aseguran-la-energia-de-biomasa-forestal-podria-sextuplicarse-en-la-argentina/> [2017].

ENAP 2009. Biocombustibles a partir de Biomasa Forestal - Experiencia de ENAP. *Seminario Internacional "Biocombustibles y su Futuro en la Matriz Energética"*.

ENERGÍAS INDUSTRIALES. 2018. *Energía Térmica con Respeto al Medio Ambiente* [Online]. Santiago, Chile: Energías Industriales,. Available: <http://www.energiasindustriales.cl/contenido.php?seccion=1>.

EXPO BIOMASA. 2017. *Expo Biomasa La Feria de los Profesionales* [Online]. España. Available: <https://www.expobiomasa.com/es/content/dinamarca-es-un-pa%C3%ADs-comprometido-con-la-biomasa-el-biog%C3%A1s-y-las-renovables> [2017].

FCI. 2018. *Facultad de Ciencias de la Ingeniería* [Online]. Valdivia, Chile: UACH. Available: <http://www.ingenieria.uach.cl/> [2017].

FENERCOM 2010. Guía de la Cogeneración. In: CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA, O.D.G.D.I., ENERGÍA Y MINAS (ed.). Madrid, España: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

FERNANDEZ, J. 2009. Energías Renovables para Todos - Biomasa. *Energías Renovables*. España: Energy Management Agency,.

FILTRO VIVO. 2018. *Producto Descontaminante de Humos* [Online]. Temuco, Chile: Hidrosym. Available: <http://filtrovivo.cl/> [2018].

FOREMAK. 2017. *FOREMAK Equipamiento y Maquinaria. Soluciones Integradas para Biomasa* [Online]. Chile. Available: <http://www.foremak.cl/>.

FORESTAL. 2018. *Facultad de Ciencias Forestales y Recursos Naturales* [Online]. Valdivia, Chile: UACH. Available: <http://www.forestal.uach.cl/> 2017].

FRANCESCATO, V.; ANTONINI, E. & ZUCCOLI BERGOMI, L. 2008. Manual de Combustibles de Madera. In: AVEBIOM (ed.) *Producción, Requisitos de Calidad, Comercialización*. Valladolid, España: Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa.

GAFFNEY, J.S. & MARLEY, N.A. 2009. The Impacts of Combustion Emissions on Air Quality and Climate – From Coal to Biofuels and Beyond. *Atmospheric Environment*, 43, 23-36.

GALLARDO, F. 2018. *Biomasa Salinas y Waeger SPA* [Online]. Available: <http://www.biomasasw.cl/empresa.php>.

GARCIA ROJAS, O.M.L. & SOSA MORENO, M. 2010. *Generacion de Energia Electrica a traves de la Biomasa*. Ingeniero Electricista, Instituto Politecnico Nacional.

GEMCO ENERGY. 2017. *Turn Biomass Waste into Green Spark* [Online]. China. Available: <http://www.gemcopelletmill.com/>.

GERDING, V.; AN DER FUHREN, F.; HOLMQVIST, C.; ALMONACID, B.N. & CEBALLOS, R. 2013. Evaluacion del Mercado de Biomasa y su Potencial - Estimación de Superficie Disponible para el Establecimiento de Plantaciones Dendroenergeticas. In: CORPORACION NACIONAL FORESTAL, M.D.E. (ed.). Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.

GLOBAL-CLIMATESCOPE. 2018. *Climate Scope 2017* [Online]. London, UK: Bloomberg New Energy Finance. Available: <http://global-climatescope.org/en/results/> 2017].



GRAU, A. & FARRÉ, O. 2011. Situación y Potencial de Valorización Energética Directa de Residuos - Estudio Técnico PER 2011-2020. In: ROSET, J.M.I. (ed.). Madrid, España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

HAQ, Z. 2002. Biomass for Electricity Generation. In: ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, A.E.O., DOE/EIA-0383 (2002). (ed.). Washington, DC: Energy Information Administration.

HARRIS VARGAS, F.G. 2014. *Optimización de Uso de Biomasa para Calefacción de Vicerrectoría Académica, Dirección de Personal, Casino Principal, Camarines y Baños de Gimnasio de la UACH Campus Teja*. Ingeniero Civil Mecánico, Universidad Austral de Chile.

IBOS-FCI 2017. Informe Jornada Lanzamiento. In: IBOS-FCI (ed.) *Estudio de Valorización Energética de Biomasa Forestal en la Región de Los Ríos*. Valdivia, Chile: UACH.

IBOS-FCI 2018. Informe de Avance N°1 - Estudio de Valorización Energética de Biomasa Forestal en la Región de Los Ríos. In: PRODUCTIVO, G.R.-C.R.D.D. (ed.) *Informe de Avance N°1*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.

IDAE 2007. Biomasa: Gasificación. In: BESEL, S.A. (ed.). Madrid, España: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

INFOR. 2017. *Instituto Forestal* [Online]. Santiago, Chile: Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Available: <http://www.infor.gob.cl/>.

INN 2008. Arquitectura y Construcción - Zonificación Climática Habitacional para Chile y Recomendaciones para el Diseño Arquitectónico In: NORMALIZACIÓN, I.N.D. (ed.) *NCh1079:2008*. 3a ed. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización.

INN 2015a. Combustible Sólido - Leña - Requisitos. In: NORMALIZACIÓN, I.N.D. (ed.) *NCh2907:2005*. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización.

INN 2015b. Sistemas de Gestión Ambiental - Requisitos con Orientación para su Uso. *In:* NORMALIZACIÓN, I.N.D. (ed.) *NCh-ISO 14001: 2015*. 3a ed. Santiago, Chile: Instituto Nacional de Normalización.

INSTITUTO DE SILVICULTURA 2012. Estimación y Caracterización de Desechos de Cosecha en Bosque Nativo y Plantaciones Forestales. *In:* CHILE, U.A.D. (ed.). Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, FONDECYT.

IRENA 2017. Renewable Power Generation Costs in 2017. *In:* INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (ed.). Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency IRENA.

IRENA & CPI 2018. Global Landscape Renewable Energy Finance 2018. *In:* INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY, C.P.I. (ed.). Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency IRENA.

KPA UNICON 2016. Technical Specification - Cartulinas CMPC. *In:* UNICON, K. (ed.) *Planta Valdivia Unicon Biograte 30t/h TA7715*. Pieksämäki/Finland: KPA Unicon.

KWB. 2018. *KWB La Caldera de Biomasa* [Online]. Austria. Available: <http://www.kwb.cl/es/productos/calefaccion-de-pellets-kwb-easyfire/garantia-y-atencion-al-cliente.html>.

KYTÖ, M. & ÄIJÄLÄ, M. 1981. *Metsäenergian käyttö ja jalostus: Puun pellettoinnin kokeellinen tutkimus. Osa 4*, Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus.

LEÑERÍA. 2018. *Heating, Ventilating & Air Conditioning Service in Valdivia Chile* [Online]. Valdivia, Chile. Available: <https://www.facebook.com/leneria.cl/> [2018].

LIGNUM. 2014. Biomasa en Chile: El Debate que Viene. *LIGNUM, Bosque Madera & Tecnología* [Online]. Available: <http://www.lignum.cl/reportajes/plantaciones-dendroenergeticas-nueva-opcion-forestal/#>.

LIGNUM. 2017. Biomasa en Chile: El Debate que Viene. *LIGNUM, Bosque Madera & Tecnología* [Online]. Available: <http://www.lignum.cl/reportajes/biomasa-en-chile-el-debate-que-viene/>.

LOAIZA NAVARRO, M.A. 2015. *Modelo de Generacion de Energia a partir de Biomasa Forestal*. Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Fisicas y Matematicas.

MANSILLA CHIGUAY, D.A. 2017. *Anteproyecto Sistema de Calefaccion Distrital en Base a Biomasa en el Complejo de Edificios Constituido por la UACH INFOR e INIA en la Ciudad de Coyhaique XI Region de Aysen*. Ingeniero Civil en Obras Civiles, Universidad Austral de Chile.

MINISTERIO DE ENERGÍA 2015. Medicion del Consumo Nacional de Leña y otros Combustibles Solidos Derivados de la Madera. *In: CONSTRUCCIÓN, C.D.D.T.Y.C.C.D.L.* (ed.). Santiago, Chile: MInisterio de Energía, Gobierno de Chile.

MINISTERIO DE ENERGÍA 2016. Energia 2050 - Politica Energetica de Chile. *In: ENERGÍA, M.D.* (ed.). Santiago, Chile: Gobierno de Chile.

MINISTERIO DE SALUD 2013. Decreto Supremo 10 - Reglamento de Calderas, Autoclaves y Equipos que Utilizan Vapor de Agua. *In: PUBLICA, S.D.S.* (ed.). Santiago, Chile: Diario Oficial de la Republica de Chile.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE 2013. Planes de Descontaminacion en Chile - El Pellet como Alternativa para Reducir Emisiones de MP2.5 en Ciudades que usan Leña. *In: FERNANDEZ GÓMEZ, M.* (ed.). Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE 2014. Plan de Descontaminacion Atmosferica - Estrategia 2014 - 2018. *In: AMBIENTE, M.D.M.* (ed.). Santiago, Chile: Gobierno de Chile.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE 2017. Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017 - 2022. *In: AMBIENTE, M.D.M. (ed.) División de Cambio Climático del Ministerio del Medio Ambiente ed. Santiago, Chile: Gobierno de Chile.*

MITRE, M. 2018. *Inversiones Quillalhue Ltda.* [Online]. Available: <https://www.mercantil.com/empresa/inversiones-quillalhue-limitada/valdivia/300461867/esp>.

MORENO, R. 2018a. Consumos Anuales Proyecto Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

MORENO, R. 2018b. Memoria de Cálculo Explicativa Proyecto Calefacción Distrital Campus Miraflores UACH. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería.

MORENO, R.; ANTOLÍN, G. & REYES, A. 2017. Comportamiento Térmico del Secado de Biomasa Forestal en un Lecho Fluidizado Agitado Mecánicamente. *13° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica*. Lisboa, Portugal.

ORTEGA, Y. 2016. Propuesta de Estándar de Calidad para la Leña. *Programa Integral de Fortalecimiento de la Leña y sus Derivados*. División Eficiencia Energética Seremi de Energía Región de Los Ríos.

ORTEGA ZÚÑIGA, A. 1997. *Software de Planificación de Actividades en Renovables de Roble, Rauli, Coigüe en la IX y X Región* [Online]. Santiago, Chile: Conicyt. Available: [http://www.conicyt.cl/wp-content/themes/fondef/encuentra\\_proyectos/PROYECTO/97/I/D97I1065.html](http://www.conicyt.cl/wp-content/themes/fondef/encuentra_proyectos/PROYECTO/97/I/D97I1065.html)  
<http://www.conaf.cl/herramienta-web-conaf-permite-conocer-el-potencial-de-biomasa-nativa-en-el-pais/> [2017].

PANTOJA TORO, R. 2012. Empresas de Leña, Enfoques, Modelos y Método. *In: TURISMO, F.P.L.I.D.L.C.D.M.D.E.F.Y. (ed.)*. Temuco, Chile.

PELLETS SAN GREGORIO. 2018. *Proceso de Planta Pelletizadora* [Online]. Chile. Available: <http://pelletsangregorio.blogspot.cl/p/proceso-fabricacion.html>.

PINEDO, A.U. 2013. *Obtención de Biocarbones y Biocombustibles Mediante Pirolisis de Biomasa Residual*. Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Química, Módulo: Química Analítica, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Facultad de Ciencias.

POTTINGER. 2017. *Empresa Equipos de Briquetado* [Online]. España. Available: [http://www.poettinger-oneworld.at/es\\_es/Produkte/Detail/1000/destructora-de-documentos-y-prensa-briquetadora](http://www.poettinger-oneworld.at/es_es/Produkte/Detail/1000/destructora-de-documentos-y-prensa-briquetadora).

PROBIOMASA. 2018. *UTF/ARG/020/ARG - Proyecto para la Promoción de la Energía Derivada de Biomasa - PROBIOMASA* [Online]. Buenos Aires, Argentina. Available: <http://www.probiomasa.gob.ar/sitio/es/> 2017].

PROFO. 2017. *Corporación de Fomento del Gobierno de Chile* [Online]. Chile. Available: <https://www.corfo.cl/sites/cpp/home>.

PUERTAS WOOD'S. 2018. *La Tradición del Sur Hecha Madera* [Online]. Valdivia, Chile. Available: <http://www.puertaswoods.cl/> 2018].

REPORTE MINERO. 2017. *Noticias Tecnológicas* [Online]. Santiago, Chile. Available: <http://www.reporteminero.cl/noticia/infografias/2017/09/infografia-el-avance-de-las-ernc-en-chile-hasta-el-17> 2017].

REYES, R. 2017. Consumo de Combustibles Derivados de la Madera y Transición Energética en la Región de Los Ríos. In: FORESTAL, I. (ed.) *Informes BES*. Santiago, Chile.

REYES, R.; NELSON, H. & SERRIFFI, H. 2017. Leña Causa o Consecuencia - Factores Subyacentes de la Producción de Leña en el Sur de Chile. In: FORESTAL, I. (ed.) *Revista BES*. Santiago, Chile.

ROJAS VALDIVIA, A.M. 2004. *Prefactibilidad Técnica y Económica para la Instalación de una Planta de Pellets para Combustibles a partir de Desechos de Madera*. Ingeniero Forestal con Mención en Manejo de Recursos Forestales, Universidad de Chile.

SEA. 2018. *Servicio de Evaluación Ambiental* [Online]. Santiago, Chile: Gobierno de Chile. Available: <http://www.sea.gob.cl/> 2018].

SECRETARIA DE ENERGIA 2008. Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa. In: *TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN*, D.G.D.C.Y.A.F.Y.S.D.E. (ed.). Argentina: Coordinación de Energías Renovables, Dirección Nacional de Promoción y Subsecretaría de Energía Eléctrica.

SEGURA, C. 2017. Producción de Pellets en Chile y Tecnologías de Combustión. In: *UNIDAD DE DESARROLLO TECNOLÓGICO*, U.D.C. (ed.).

SEREMI. 2018. *Secretaría Regional Ministerial Región de Los Ríos* [Online]. Santiago, Chile: Gobierno de Chile. Available: <http://www.seremisaludlosrios.cl/> 2018].

SHELL. 2018. *Distribuidora de combustibles y lubricantes* [Online]. Available: <https://www.shell.cl/> 2018].

SINCA. 2018. *Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire* [Online]. Santiago, Chile: Gobierno de Chile. Available: <https://sinca.mma.gob.cl/> 2018].

SNCL 2017. Principales Resultados del Proyecto Trazabilidad de Leña en Chile. *Diagnóstico de Medios, Estándares y Actores Involucrados en la Cadena de Comercialización de Leña a Nivel Nacional, Chile*.

SOTOMAYOR, A.; HELMKE, E. & GARCÍA, E. 2002. Manejo y Mantenimiento de Plantaciones Forestales de *Pinus Radiata* y *Eucalyptus* sp. In: CHILE, I.F.-C.G.D. (ed.). Santiago, Chile.

STAFFELL, I. 2011. The Energy and Fuel Data Sheet. University of Birmingham, U.K.

TIMBERNI. 2018. *Manufacturas Timberni Limitada*, [Online]. Valdivia, Chile. Available: <http://www.timberni.cl/> 2018].

TRITEC-INTERVENTO. 2016. *Distribución de Equipos de Energía Solar Fotovoltaica* [Online]. Santiago, Chile. Available: <http://www.tritec-intervento.cl/productostritec/banco-mundial-indica-que-chile-es-lider-en-desarrollo-de-energias-renovables/> 2017].

UACH 2015. Calefacción a Distancia en Campus Isla Teja - Pre-Evaluación Informe Final. In: ENERGIAINTELIGENTE (ed.). Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.

UACH. 2017. *Politica y Reglamento de Propiedad Intelectual* [Online]. Valdivia, Chile. Available: [http://otl.uach.cl/wp-content/uploads/2013/11/politica\\_propiedad\\_intelectual\\_uach.pdf](http://otl.uach.cl/wp-content/uploads/2013/11/politica_propiedad_intelectual_uach.pdf).

UDT 2013. Evaluacion de Soluciones Tecnologicas Termicas y Electricas - Calefaccion Distrital con Biomasa en Chile. In: UNIDAD DE DESARROLLO TECNOLÓGICO, U.D.C. (ed.) *Evaluacion de Soluciones Tecnologicas Termicas y Electricas, Marco Regulatorio e Instrumentos*. Santiago, Chile: Ministerio de Energía, Ministerio del Medio Ambiente.

UK GOVERNMENT 2017. Digest of UK Energy Statistics DUKES - Energy. In: STRATEGY, D.O.B.E.I. (ed.) *DUKES Chapter 1: Statistics on Overall Energy Production and Consumption*. London, UK: UK Government.

UNASYLVA 2005. Unasylda, Del Dialogo a la Acción - COFO 2005. *unasylda, Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales*. FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

UNTEC 2014. Alternativas Tecnologicas para la Calefaccion Residencial con Energias Renovables No Convencionales Aplicables a la Realidad Chilena. In: UNIVERSIDAD Y

TECNOLOGÍA FUNDACIÓN PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA (ed.).  
Santiago, Chile: Universidad de Chile.

WHIRLSTON. 2017. *Whirlston Machinery* [Online]. China. Available:  
<http://www.woodpelletmachine.net/>.