



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PLAN DE NEGOCIOS PARA UNA FÁBRICA
DE PELLETS DE MADERA EN CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

JUAN JOSÉ ALDUNATE VIDAL

PROFESOR GUÍA:
MANUEL DÍAZ ROMERO
MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RAÚL URIBE DARRIGRANDI
PABLO JUSTINIANO STEWART

SANTIAGO DE CHILE
2015

Resumen

El presente informe presenta un plan de negocios para una fábrica de pellets de madera en Chile, en donde se presentan los principales agentes involucrados y sus respectivos roles en el mercado nacional, se propone estrategias para decidir la ubicación de la planta de producción y, por último, se realiza una evaluación técnica y económica de la planta.

El principal uso del pellet de madera es como combustible para calefacción, en donde sus principales competidores en Chile corresponden a la leña, parafina, electricidad, gas licuado y gas natural, siendo la leña el único producto que supera en el ámbito económico al pellet, pero no así, sus ventajas medioambientales, facilidad de transporte, uso y almacenamiento. Lo cual ha provocado un fuerte interés por parte del Gobierno en potenciar el uso de este combustible como alternativa a los problemas medioambientales presentes en el país, limitando el uso de calefactores que utilicen leña como combustible, y a su vez, llevando a cabo programas de recambio de calefactores antiguos por calefactores que utilicen pellets de madera.

Dentro de los factores claves del éxito de las empresas en el sector, se destacan los siguientes: Proveedores de materia prima, tipo de materia prima, localización de la planta, maquinaria a utilizar y proceso de producción. Por lo que se recomienda ubicar la planta a no más de 100 km del proveedor de materia prima y un límite cercano a los 300 km desde la planta hacia el consumidor final. En donde se destaca el consumo para calefacción de las regiones del Bío-Bío, Los Ríos y de la Araucanía.

La factibilidad técnica y económica consideró el análisis en detalle de un caso base, el cual, considera la utilización de una línea marca Kahl con capacidad de producción igual a 1,5 toneladas por hora y un proveedor ubicado en Loncoche con 3100 m^3 -estéreo de aserrín húmedo disponible para comercializar. Los costos de inversión del caso base, con capacidad igual a 1,5 toneladas de pellet por hora, llegan a los \$2.383.024.422, lo cual da como resultado una tasa interna de retorno igual a 14,4%, con un valor presente neto igual a \$-41.270.996. Lo cual varía sustancialmente al utilizar otro precio de venta, lo cual aumenta la TIR a 20,96%. En el caso de otras líneas analizadas, una planta con igual capacidad alcanza una TIR igual a 29%.

La conclusión del presente informe, considera que el interés mostrado por parte del gobierno por el pellet de madera, hacen del negocio del pellet de madera una alternativa altamente atractiva a largo plazo. Lo cual se hará rentable sólo si el proceso de secado es eficiente o se logre identificar un proveedor de aserrín con bajos niveles de humedad.

Tabla de Contenido

Resumen	i
Tabla de Contenido	ii
Introducción.....	7
Capítulo I: Contexto General	8
1. Justificación del proyecto	8
2. Antecedentes del proyecto	10
2.1. Antecedentes Económicos.....	10
2.1.1. Mercado de la biomasa en Chile.....	10
2.1.2. Recurso forestal en Chile.....	12
2.1.3. Consumo para la calefacción del sector residencial.....	15
2.1.4. Mercado del Pellet de madera	18
2.1.5. Mercado del Aserrín	21
2.1.6. Rango de precios de calefactores.....	27
2.2. Antecedentes Legales.....	28
2.2.1. Planes de descontaminación del Gobierno de Chile	28
2.3. Antecedentes Técnicos	41
2.3.1. Combustibles madereros	41
2.3.2. Tecnologías disponibles en el mercado local de calefacción	53
Capítulo II: Desarrollo del plan de negocios.....	55
3. Factibilidad técnica	55
3.1. Caso Origen: Proveedor ubicado en Loncoche	55
3.1.1. Descripción del proceso productivo	57
3.1.2. Consumo en los procesos	61
4. Logística de transporte y ubicación	62
4.1. Transporte de proveedores de aserrín a productores de pellets.....	64
4.2. Transporte de productores de pellets a distribuidores	64
5. Análisis económico.....	68
5.1. Análisis de las cinco fuerzas competitivas (Porter).....	68
5.2. Análisis del entorno de la empresa.....	80
5.2.1. Factores macro que afectan al proyecto	80
5.2.2. Factores Claves del éxito de las empresas en el sector.....	81
5.3. Plan de marketing	82
5.3.1. Análisis del mercado objetivo	82
5.3.2. Productos sustitutos	85
6. Plan Económico Financiero	92
6.1. Análisis de sensibilidad.....	99
7. Propuesta para la localización de la planta	104
8. Conclusiones.....	106
Bibliografía.....	109

Anexos	112
Anexo A: Antecedentes Económicos	112
Anexo A1: Zona térmica a la que pertenece la vivienda	112
Anexo B: Antecedentes Legales	114
Anexo B1: Material Particulado	114
Anexo C: Antecedentes Técnicos	115
Anexo C1: Briquetas	115
Anexo C2: Normativa ENPlus Pellets.....	118
Anexo C: Factibilidad Técnica	119
Anexo C1: Formulario de cotización enviado a Ortizco	119
Anexo C2: Cotización línea producción KAHL.....	120
Anexo C3: Expertos consultados	125
Anexo C4: Descripción del proceso productivo	125
Anexo C5: Cotizaciones de calderas.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Recurso forestal en Chile (Miles de hectáreas).....	13
Tabla 2: Superficie de bosques plantados por especie según Región (Hectáreas)	14
Tabla 3: Consumo de trozas por especies 2000-2007 (Miles de m ³ SSC).....	15
Tabla 4: Consumo energía para calefacción viviendas zona A [Mwh/año]	17
Tabla 5: Consumo energía para calefacción vivienda zona B [Mwh/año]	18
Tabla 6: Consumo energía para calefacción vivienda zona C [Mwh/año]	18
Tabla 7: Destino de los residuos según tipo (ton/año)	24
Tabla 8: Precios medios por unidad según tipo de residuos	24
Tabla 9: Precio promedio [\$/m-e] de aserrín según región puesto en destino	25
Tabla 10: Destino aserrín aserradero por Región [m ³ /año]	25
Tabla 11: Precios actuales aserrín	26
Tabla 12: Precio Calefactores Rancagua - Curicó - Talca - Chillán - Concepción - Los Ángeles	27
Tabla 13: Precio calefactores Temuco - Osorno - Valdivia	27
Tabla 14: Programa de recambio de calefactores.....	34
Tabla 15: Calefactores presentes en Temuco y Padre Las Casas.....	37
Tabla 16: Prohibiciones zona Talca y Maule	38
Tabla 17: Características aserrín de Pino Radiata	42
Tabla 18: Características leña de Eucaliptus y Pino Radiata	45
Tabla 19: Factor de emisiones contaminantes para cocinas a leña y estufas de combustión lenta y doble cámara.....	46
Tabla 20: Características pellets de madera	51
Tabla 21: Factibilidad técnica de las tecnologías	54
Tabla 22: Factores de emisión MP ₁₀ artefactos a leña.....	54
Tabla 23: Factores de emisión MP _{2,5} artefactos a leña	54
Tabla 24: Características de la materia prima a utilizar.....	56
Tabla 25: Infraestructura necesaria para caso origen	60
Tabla 26: Línea de producción	60
Tabla 27: Consumo de aserrín para fabricación de pellets	61
Tabla 28: Consumo aserrín para fabricar 1 tonelada de pellet.....	61
Tabla 29: Consumo en los procesos del caso base	62
Tabla 30: Consumo de calderas caso base	62
Tabla 31: Resumen Porter mercado industrial y residencial	79
Tabla 32: Barreras de entrada y salida vs. rentabilidad esperada de largo plazo	79
Tabla 33: Proyección consumo energía viviendas [MWh/año].....	83
Tabla 34: Consumo potencial de pellets sector residencial [ton/año].....	83
Tabla 35: Proyección desagregada por tipo de vivienda Zona térmica B.....	83
Tabla 36: Proyección consumo leña para calefacción Zona térmica B	83
Tabla 37: Concentración de demanda de leña en Chile.....	84
Tabla 38: Comparación estufas y calderas	89
Tabla 39: Tipos de cambio utilizados	92
Tabla 40: Inversión en infraestructura	93
Tabla 41: Inversión en línea de proceso	94
Tabla 42: Costo de flete e internación de maquinaria extranjera	94
Tabla 43: Costo de montaje y entrenamiento.....	94
Tabla 44: Capital de trabajo	94

Tabla 45: Resumen inversión caso base	95
Tabla 46: Inversión línea General Dies con capacidad 1,5 [ton/h]	95
Tabla 47: Inversión línea General Dies con capacidad 2,5 [ton/h]	96
Tabla 48: : Inversión línea General Dies con capacidad 4 [ton/h]	96
Tabla 49: Consumo líneas General Dies.....	97
Tabla 50: Depreciación Financiera [CLP\$].....	97
Tabla 51: Depreciación acelerada tributaria	97
Tabla 52: Flujo neto operacional caso base	98
Tabla 53: Evaluación económica caso base	99
Tabla 54: Análisis de sensibilidad, variación en el precio del aserrín	99
Tabla 55: Análisis de sensibilidad	100
Tabla 56: Análisis de sensibilidad	100
Tabla 57: Análisis de sensibilidad	101
Tabla 58: Análisis de sensibilidad	101
Tabla 59: Comparación VAN y TIR en variación del proceso de secado	102
Tabla 60: VAN y TIR para línea sin proceso de secado	102
Tabla 61: Rentabilidad para distintas líneas de producción	102
Tabla 62: Distancia de transporte promedio de pellets en mercados desarrollados	105
Tabla 63: Principales normas europeas para la elaboración de pellets y briquetas	117
Tabla 64: Características briquetas de madera.....	117
Tabla 65: Especificaciones pellets según norma ENPlus.....	118

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Proyección de viviendas por zona térmica.....	16
Ilustración 2: Proyección del consumo energético residencial por uso final de la energía al 2050	16
Ilustración 3: Proyección del consumo de energía debido a calefacción en el subsector Residencial.....	17
Ilustración 4: Producción/Demanda de pellets a nivel mundial, 2013.....	19
Ilustración 5: Mapa de importaciones y exportaciones a nivel mundial de pellets de madera [Millones de Toneladas]	20
Ilustración 6: Promedio Anual MP _{2,5} en estaciones de monitoreo	29
Ilustración 7: Promedio Anual MP ₁₀ en ciudades de monitoreo	30
Ilustración 8: Principales fuentes de contaminación MP _{2,5}	31
Ilustración 9: Situación de Planes de descontaminación en Chile.....	31
Ilustración 10: Norma de emisión de calefactores.....	33
Ilustración 11: Calefactores presentes en el mercado chileno	53
Ilustración 12: Producción y comercialización del pellet.....	63
Ilustración 13: Entrega de pellets desde silo hacia camión (a granel).....	65
Ilustración 14: Norma de emisión de calefactores.....	81
Ilustración 15: costos para calefacción ciudades centro sur (1)	86
Ilustración 16: costos calefacción ciudades centro-sur (2)	87
Ilustración 17: Zonas térmicas y su distribución en el país	113
Ilustración 18: Orden de magnitud tamaño Material Particulado	114
Ilustración 19: Diagrama de bloques general del proceso productivo elaboración de pellets madereros.....	126
Ilustración 20: Almacenamiento de residuos madereros antes de su tratamiento.....	127
Ilustración 21: Secadores industriales de aserrín. Secador de Bandas [Izquierda]; Secador tipo trómel [Derecha].....	129
Ilustración 22: Molino de martillos para aserrín	131
Ilustración 23: Prensas de pelletizado de residuos madereros. Prensa matriz plana (Izquierda); matriz anular (Derecha).....	134
Ilustración 24: Enfriadora en contracorriente para pellets de madera	135
Ilustración 25: Tamiz vibratorio.....	136
Ilustración 26: Comercialización de pellets en Maxibags y Smallbags.....	137

Introducción

Dadas las condiciones geográficas presentes en Chile, las bajas temperaturas alcanzadas en varias de sus zonas conllevan a una gran utilización de energía para calefacción.

La gran cantidad de recursos forestales presentes en el país hacen de la leña uno de los principales combustibles para calefacción utilizados por la población chilena. Pese a las ventajas económicas que tiene la leña frente a otros combustibles para calefacción, su mala utilización por parte de la población, ha causado grandes problemas medioambientales, específicamente, el aumento en la contaminación atmosférica debido al material particulado desprendido en el proceso de combustión.

Dicha contaminación ha causado graves problemas de salud en la población, lo cual provocó una fuerte determinación por parte del Gobierno en reducir el material particulado presente en el aire. Dentro de los esfuerzos del gobierno por reducir la contaminación ambiental, se destaca el interés que tiene este por el uso de pellet de madera como alternativa sustentable a los problemas descritos.

El pellet de madera corresponde a un combustible sólido producido a partir de desechos forestales. Poseen un aspecto cilíndrico de pequeñas dimensiones y se elaboran a partir de madera residual como aserrines y virutas, siendo comprimidos a alta presión sin la presencia de aditivos, obteniendo un producto homogéneo con una humedad muy baja.

Debido a su bajo costo, limpieza, alta densidad energética y bajas necesidades de almacenamiento en comparación a otros combustibles. El consumo de pellets de madera ha mostrado una fuerte tendencia al alza tanto a nivel nacional como internacional.

Se ha encontrado evidencia, la cual indica, que el mercado actual de pellets de madera en Chile presenta problemas en la oferta, dejando una porción de la demanda insatisfecha. Lo cual, junto con la posición del Gobierno y su creciente interés por el pellet de madera, hacen de la producción de pellets un negocio bastante llamativo.

Considerando lo anterior, en el presente informe tiene como objetivo e desarrollará un plan de negocios para una fábrica de éste biocombustible en Chile. En donde se definirán los principales agentes involucrados y sus respectivos roles en el mercado actual de pellets de madera en Chile. Se propondrá estrategias para decidir la ubicación de la planta, y, se desarrollará una evaluación técnica y económica de la planta de producción.

Capítulo I: Contexto General

1. Justificación del proyecto

Una de las características de Chile, es su gran cantidad de recurso forestal, el cual se puede catalogar en dos tipos de bosques: nativo y plantaciones. A pesar de que el bosque nativo representa la mayor superficie de recurso forestal a nivel nacional, su importancia a escala de producción, es significativamente inferior en comparación a los bosques plantados, los cuales concentran su propiedad en pocos agentes.

Los problemas medioambientales producidos principalmente por el uso de leña para calefacción en Chile, han impulsado al Gobierno a crear planes de descontaminación enfocados en la prohibición de artefactos presentes en la mayoría de los hogares chilenos en donde existe problemas ambientales.

Actualmente, diez millones de personas están expuestas a una concentración promedio anual de $MP_{2,5}$ (material particulado 2,5) superior a la norma¹. Incluso en el Primer Reporte del Medio Ambiente, publicado en el año 2013, se informa que, según la Organización Mundial de la Salud, (OMS 2004), la contaminación atmosférica es responsable de al menos cuatro mil muertes prematuras a nivel nacional. Abordar esta contaminación traería beneficios en salud valorizados en alrededor de 8.000 millones de dólares al año [1].

La preocupación por la contaminación por parte del Gobierno de Chile es evidente, lo cual queda reflejado en los planes vigentes de descontaminación, implementados en las siguientes ciudades: Tocopilla, María Elena – Pedro de Valdivia, Chuquicamata, Potrerillos, Paipote – Tierra Amarilla, Puchuncaví y Quintero (Ventanas), Metropolitana de Santiago, Valle Central de la VI Región, Caletones y Temuco-Padre las Casas [1], en donde las emisiones provocadas por la utilización de leña como combustible aporta casi un 90% del total de las emisiones de material particulado en los meses fríos [2].

Lo anterior se complementa con varios anteproyectos de descontaminación, los cuales consideran las siguientes localidades: Calama, Huasco, Puchuncaví y Quintero (Ventanas), Talca – Maule, Chillán – Chillán Viejo, Temuco y Padre las Casas ($MP_{2,5}$), Osorno y Coyhaique [1].

¹ La definición y clasificación del Material Particulado será detallado en **Anexo B1: Material Particulado**.

Sumado a lo anterior, existe una preocupación por parte del gobierno por la contaminación existente en el centro sur de Chile (Temuco y Padre las Casas),

Por último, se puede visualizar una fuerte tendencia en el aumento del uso de éste tipo de biocombustibles, ya sea a nivel mundial como nacional [3].

Como consideración extra, en la actualidad Chile presenta un déficit de oferta de pellets de madera, como persona natural (ciudadano común) existe una dificultad al querer comprar éste tipo de biocombustible ya que las principales tiendas que proveen dicho producto en el sur de Chile no tienen stock.

Por último, se espera que el creciente interés del gobierno en el uso del pellet de madera como solución a los problemas de contaminación en los últimos años sustenten que una planta de producción de pellets de madera en Chile no solo sea un potencial negocio, sino también ayudaría al crecimiento de la demanda del biocombustible, lo cual provocaría una disminución tanto de la contaminación atmosférica en Chile, como también una diversificación frente a la dependencia eléctrica que existe en la actualidad.

2. Antecedentes del proyecto

Con la finalidad de simplificar el desarrollo del plan de negocios, se expondrán los antecedentes que sustentan y solventan la implementación del proyecto. Las características de los datos y variables de la investigación, se catalogarán en tres aspectos principales:

2.1. Antecedentes Económicos

El objetivo de esta sección es presentar antecedentes de carácter económicos, los cuales puedan afectar la implementación de una planta de producción de pellets de madera.

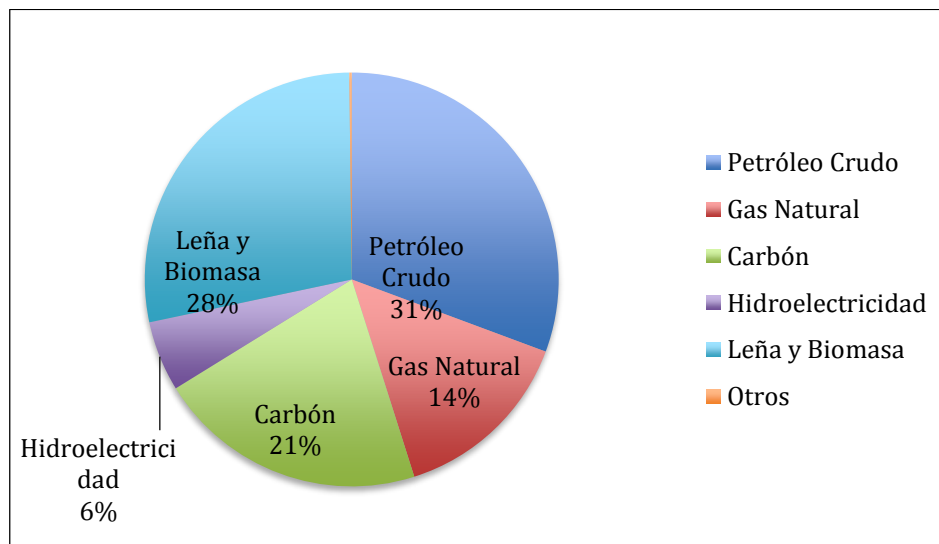
Para entender el contexto global del mercado del pellet de madera, se presentará a continuación un análisis de la industria y del mercado tanto a nivel mundial como nacional.

2.1.1. Mercado de la biomasa en Chile

La leña/biomasa contribuye con un 71% a la matriz energética primaria del país, cuya aplicación predominante es el uso de leña para calefacción y cocina residencial (39%), la que proviene principalmente de bosque nativo. Por otro lado, el 19% se utiliza como combustible industrial, para generación térmica, eléctrica y co-generación y el 42% en los centros de transformación. En el sector industrial, el principal consumidor de biomasa es la industria forestal [4].

De acuerdo al Balance Nacional de Energía (BNE) realizado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) para el año 2012, de un total de 315.586 [Tera Calorías] de consumo bruto energía primaria, 88.778 [Tera Calorías] corresponden al consumo energético a través de Leña y Biomasa. Esto queda reflejado en el gráfico 5, en donde se visualiza que aproximadamente al 28% del consumo energético primario bruto nacional corresponde a Leña y Biomosas.

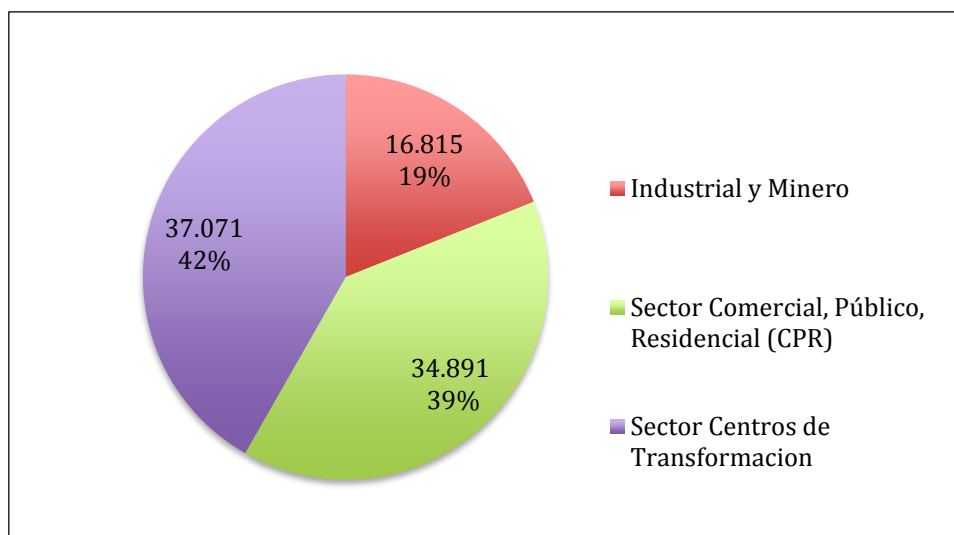
Gráfico 1: Consumo bruto energía primaria, Chile 2012 [TeraCalorías]²



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del BNE, CNE, 2013.

En cuanto al consumo sectorial de Leña y Biomasa, los Centros de Transformación (CTR) lideran el consumo con el 42% del total (37.072 [T Cal]), seguido por el consumo realizado por el sector Comercial, Público y Residencial (CPR) con un 39% del total (34.892 [T Cal]), lo anterior queda reflejado en el siguiente gráfico (Gráfico 6):

Gráfico 2: Consumo Sectorial de leña y biomasa 2012 [TeraCalorías].

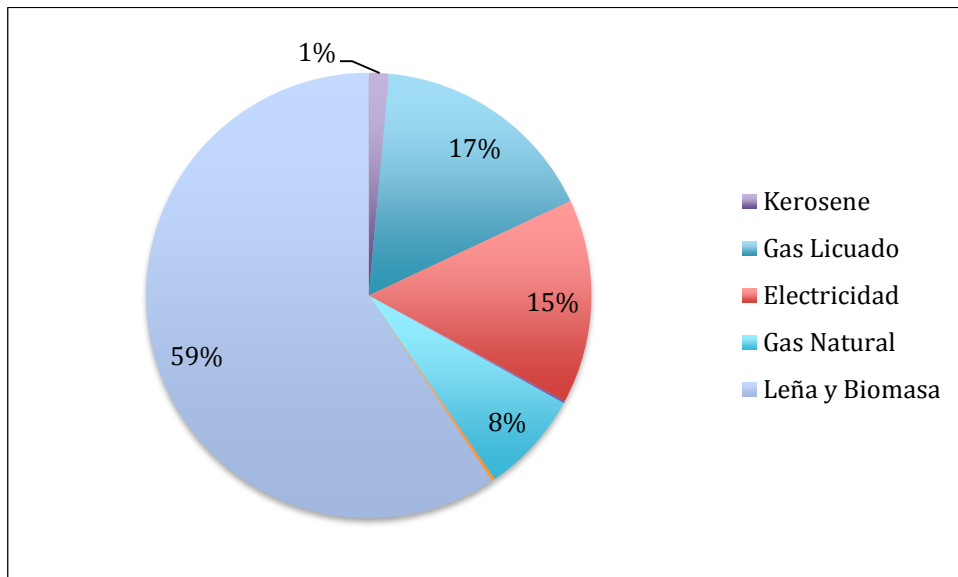


Fuente: Elaboración propia a partir de datos del BNE 2012, CNE, 2013.

² Desde el año 2012 se considera el consumo de Biomasa por los autoprodutores de electricidad.

Del sector comercial, público y residencial (CPR), el principal consumidor³ de leña y biomasa es el sector residencial. Analizando más en detalle, a continuación, se presenta la participación de la leña y biomasa en el consumo bruto de tal nicho.

Gráfico 3: Consumo bruto de energía primaria 2012 [Tera calorías] sector residencial



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del BNE, CNE, 2013.

Como se aprecia en el gráfico anterior, la leña y biomasa contribuye al 59% del total del consumo bruto de energía primaria en el sector residencial, alcanzando un valor igual a 34.891 Tera calorías.

En el caso del sector industrial y minero, de las 16.815 Tera Calorías consumidas a través de leña y biomasa, 13.263 es utilizada por la industria de papel y celulosa. Dicha energía corresponde al 57% de la energía total consumida en el sector.

2.1.2. Recurso forestal en Chile

La producción de pellets de madera está condicionado principalmente a la disponibilidad de desechos forestales, por lo que a continuación se presentará de manera amplia el mercado forestal de Chile. Como así también, los principales agentes involucrados en el manejo de dichos recursos. En la Tabla 1 se puede observar que Chile es un país con un

³ De acuerdo al BNE del año 2012, el consumo de leña y biomasa (consumo bruto de energía primaria) por los sectores comercial y público es nulo.

gran recurso forestal, el cual se puede catalogar en dos tipos de bosques: Bosque nativo/natural y bosque plantado⁴.

Tabla 1: Recurso forestal en Chile (Miles de hectáreas)

Recurso	2004	2005	2006	2007
Bosque Nativo	13.457	13.564	13.564	13.685
Bosques Plantados	2.079	2.125	2.202	2.299
Pino Radiata	1.408	1.419	1.438	1.477
Eucalipto	490	552	585	654
Plantación anual	131	134	122	116

Fuente: Departamento de Economía, Universidad de Concepción, 2009

A pesar de que el bosque nativo representa la mayor superficie de recurso forestal a nivel nacional, su importancia a escala de producción, es relativamente inferior en comparación a los bosques plantados. Lo anterior, se debe a que existen restricciones para la explotación del bosque nativo, las cuales, en términos generales, establecen que se requiere un plan de manejo aprobado por la corporación Nacional Forestal, para así cortar cualquier bosque nativo. Además, se debe considerar la baja tasa de regeneración (crecimiento lento), como también la calidad irregular de la madera.

Considerando los antecedentes, anteriormente expuestos, en el transcurso de la investigación se concentrará el análisis respecto a diversos aspectos de interés con relación a los bosques plantados.

En cuanto a la concentración de los recursos forestales por región, se puede observar en la Tabla 2, que la mayor proporción de hectáreas de bosques plantados se ubica en la VII, VIII y IX región. Donde sus plantaciones, corresponden, aproximadamente, al 75% de la superficie de bosques plantados a nivel nacional. Sin ir muy lejos, más allá de la concentración geográfica de las plantaciones, las cifras provistas en la Tabla 2 sugieren una importante predominancia para la superficie en pocas especies. Específicamente, poco más de un 91% del total de las plantaciones, a nivel nacional, corresponden a Pino Radiata (63,5%) y a dos variedades de Eucaliptus.

⁴ La información presentada en esta sección fue extraída del estudio “Análisis de la cadena de producción y comercialización del sector forestal chileno: Estructura, agentes y prácticas.” Del Departamento de Economía de la Universidad de Concepción [5].

Tabla 2: Superficie de bosques plantados por especie según Región (Hectáreas)

Región	Eucaliptus Glob	Eucaliptus Nitens	Pino Radiata	Otros	Total	%
I	325			24.567	24.895	1,1%
II	2			1.193	1.195	0,1%
III	1.404			1.897	3.301	0,1%
IV	2.634			80.111	82.745	3,6%
V	39.065		10.903	1.789	51.751	2,3%
RM	11.369			2.544	13.913	0,6%
VI	34.153	17	66.380	1.907	102.457	4,5%
VII	37.565	631	389.434	5.008	432.638	18,8%
VIII	195.198	45.275	610.124	7.995	858.592	37,3%
IX	119.975	48.044	262.430	11.657	442.106	19,2%
X	16.993	25.191	15.179	4.285	61.648	2,7%
XI				43.137	43.137	1,9%
XII				257	257	0,0%
XIV	19.883	41.184	106.762	12.871	180.700	7,9%
Total	478.569	160.342	1.461.212	199.212	2.299.335	100%
(%)	20,80%	7,00%	63,50%	8,70%	100,00%	

Fuente: Departamento de Economía, Universidad de Concepción, 2009

La disponibilidad de recurso forestal – bosques plantados y en menor medida bosques naturales-abastecen el consumo demandado por las etapas siguientes de la cadena productiva de la industria forestal. De acuerdo a estadísticas oficiales un poco más del 98% de la madera que abastece la industria proviene de bosques plantados, en tanto que menos de un 2% corresponde a bosque natural, el cual es destinado, principalmente a producción de leña.

Por otra parte, se puede apreciar, que la Tabla 3 presenta un detalle del consumo anual de trozos (o troncos) por parte de la industria forestal entre el año 2000 y 2007. También que el consumo de sus maderos tuvo crecimiento significativo durante un periodo de ocho años, pasando de un nivel de 24,4 millones de m^3 sólidos sin corteza (SSC), hasta algo más de 38,4 millones de m^3 SSC. De la cifra total de consumo de leños durante el año 2007, aproximadamente un 71,3% correspondió a Pino Radiata, en tanto que un 26% estuvo constituido por Eucalipto.

Tabla 3: Consumo de trozas por especies 2000-2007 (Miles de m³ SSC)

Recurso	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Pino Radiata	20.385	20.188	22.088	25.802	25.729	25.535	27.495
Eucalipto	3.975	4.389	4.596	5.341	5.947	6.769	10.058
Otros	1.322	914	807	855	981	914	863
Bosque Nativo	1.142	754	646	624	649	536	516
Total	25.682	25.491	27.491	31.998	32.657	33.218	38.416

Fuente: Departamento de Economía, Universidad de Concepción, 2009

Dada su alta participación en el consumo total de recursos forestales, disponibles en el país, se dará especial énfasis a las plantaciones de Pino Radiata.

Adicionalmente, de acuerdo a cifras provistas por INFOR al estudio en el cual se basa esta información [5], la distribución de propiedad de los bosques plantados está distribuida de la siguiente forma: 64% sociedades anónimas y otras sociedades formales, 19% instituciones fiscales y municipales, 17% productores individuales, sucesiones y sociedades de hecho, 0,4% comunidades indígenas. Es importante destacar que una característica de esta estructura de propiedad es que pocos propietarios concentran superficie de bosques plantados a gran escala.

De los principales agentes presentes en el mercado forestal chileno el de mayor importancia corresponde a **ARAUCO S.A.**, quien concentra sus actividades en las regiones VII, VIII y XIV. El segundo actor de mayor relevancia a nivel nacional corresponde a **CMPC S.A.**, seguido por la empresa **MASISA**, quienes al igual que ARAUCO, concentran sus actividades en la zona centro sur del país.

2.1.3. Consumo para la calefacción del sector residencial

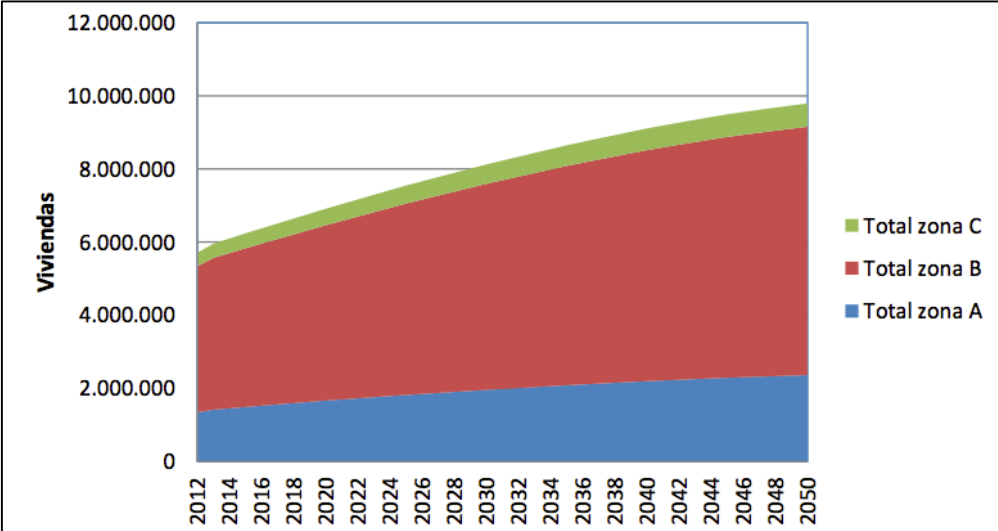
Considerando la fuerte participación del sector residencial en la demanda de leña y biomasa en Chile, se analizará más en detalle dicho mercado⁵.

Debido a que el 56,3% de la energía utilizada a nivel residencial es destinada a la calefacción [6], la cual varía sustancialmente en las distintas zonas del país debido a la diferencia de climas, en **Anexo A1: Zona térmica a la que pertenece la vivienda**, se describe la clasificación actual de las zonas térmicas presentes en Chile.

⁵ La siguiente sección (Consumo para la calefacción en Chile) basa su información en el informe "MAPS Chile: Proyección Escenario Línea Tendencial 2012 y Escenarios de Mitigación del Sector Comercial, Público y Residencial" [29]

En este subsector, se estima que, para un escenario de PIB medio, el número de viviendas aumentará desde los 5.7 millones aproximadamente al 2012, hasta los casi 10 millones de viviendas al 2050. El aumento principal de propiedades se dará en la zona centro – sur. Esto se puede observar en la siguiente Ilustración 1:

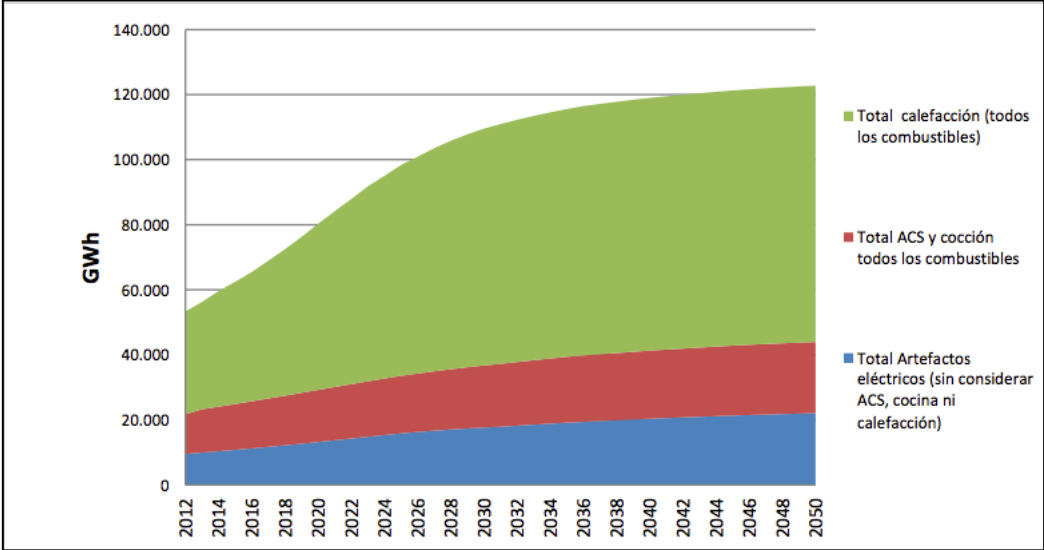
Ilustración 1: Proyección de viviendas por zona térmica



Fuente: MAPS Chile, 2012.

De esta forma, el número de viviendas conllevará un aumento en el consumo energético, principalmente por el incremento del uso de calefacción en el hogar.

Ilustración 2: Proyección del consumo energético residencial por uso final de la energía al 2050

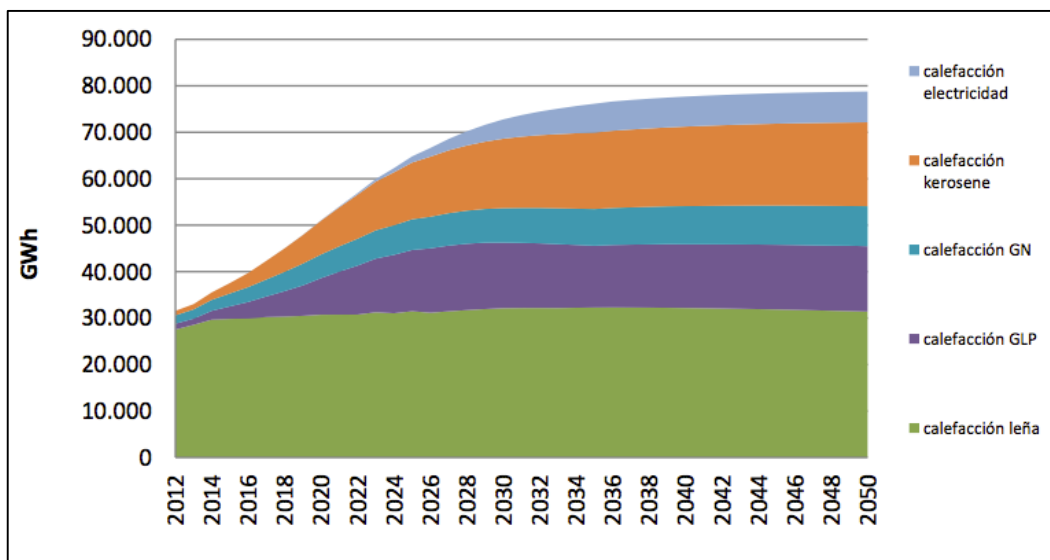


Fuente: MAPS Chile, 2012.

En relación a los combustibles utilizados para calefacción, se estima un desarrollo en el uso a leña, lo cual experimentaría una baja, producto de mayores restricciones ambientales. En este contexto, el kerosene, la electricidad y el gas licuado de petróleo (GLP) muestran los mayores alcances. En el caso del Kerosene y el GLP, sus precios son más competitivos de acuerdo a las proyecciones; y en el caso de la electricidad, gracias a su mayor disponibilidad. También se sostiene un aumento importante en el uso de energía para calefacción como resultado del ingreso de tecnologías eficientes (bombas de calor, calefactores de alto rendimiento, etc.). Esto debido a que, en la actualidad, dicho gasto es marginal por sus equipos ventiladores con resistencias de resistencias de fuerza.

Se espera un aumento en el uso de las tecnologías mencionadas, lo que provocará una migración de las viviendas que hacen uso de otros combustibles, hacia este tipo de tecnologías.

Ilustración 3: Proyección del consumo de energía debido a calefacción en el subsector Residencial



Fuente: MAPS Chile, 2012.

De esta forma, la proyección del consumo final para calefacción queda resumida en las siguientes tablas:

Tabla 4: Consumo energía para calefacción viviendas zona A [Mwh/año]

Zona A total	2015	2020	2030	2040	2050
Urbano Depto.	67.526	131.202	223.806	272.606	315.468
Urbano Casa y Otros	1.071.989	2.572.848	4.770.750	5.738.914	5.883.069
Rural Casa	292.299	546.333	902.357	1.071.585	1.111.251
Total	1.431.814	3.250.383	5.896.912	7.083.106	7.309.788

Fuente: MAPS Chile, 2012.

Tabla 5: Consumo energía para calefacción vivienda zona B [Mwh/año]

Zona B total	2015	2020	2030	2040	2050
Urbano Depto.	799.718	1.575.545	2.645.597	3.240.500	3.618.110
Urbano Casa y Otros	17.482.457	29.150.908	39.122.519	40.840.182	41.507.702
Rural Casa	7.327.858	9.703.725	11.625.736	12.093.813	12.317.902
Total	25.610.033	40.430.178	53.393.852	56.174.496	57.443.714

Fuente: MAPS Chile, 2012

Tabla 6: Consumo energía para calefacción vivienda zona C [Mwh/año]

Zona C total	2015	2020	2030	2040	2050
Urbano Depto.	129.899	180.726	207.112	188.972	209.404
Urbano Casa y Otros	7.715.893	9.063.591	10.244.179	9.551.503	8.764.476
Rural Casa	3.066.282	4.192.503	4.962.185	5.097.830	5.161.371
Total	10.912.074	13.436.820	15.413.476	14.838.305	14.135.252

Fuente: MAPS Chile, 2012

Dado los esfuerzos del Gobierno por reducir los problemas de contaminación ambiental, producto de la mala utilización de la leña en Chile para calefacción⁶, se visualiza una posible oportunidad de los pellets de madera como un buen solucionador del problema. A continuación, se presentará tal uso como potencial demanda del pellet de madera.

2.1.4. Mercado del Pellet de madera

A continuación, se presentará la información acerca del mercado mundial del pellet de madera, como también su situación actual en el ámbito nacional.

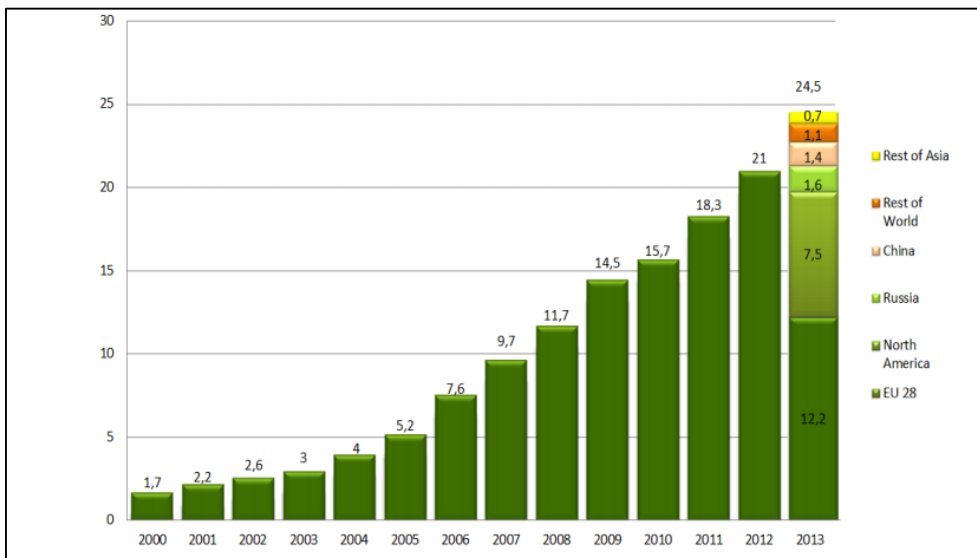
Mercado de Pellets a nivel mundial.

En cuando al mercado de los pellets, se puede asegurar que ha experimentado un aumento significativo en los últimos años. Existen registros que indican que desde el año 2000 hasta el año 2013, la producción de pellets ha mostrado un fuerte incremento, que va desde 1,7 hasta 24,5 millones de toneladas, mientras que su consumo llego a 23,2 millones de toneladas el año 2013.

A continuación se muestra un gráfico del aumento en la producción de pellets a escala mundial, el cual está liderado por la Unión Europea, quien tiene, aproximadamente, el 50% de la producción internacional [7].

⁶ Dicha información será detallada en la sección Antecedentes Legales.

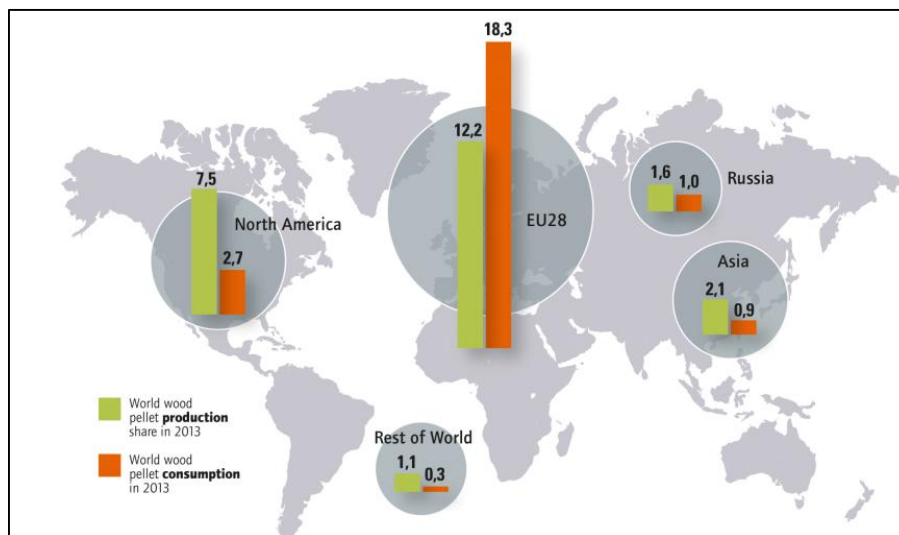
Gráfico 4: Estimación de la producción mundial de Pellets. [Millones de toneladas]



Fuente: AEBIOM European Bioenergy Outlook, 2014

Europa a pesar de ser el mayor productor de pellets a nivel mundial, no alcanza a cubrir su demanda, esta se vio superada en 6,1 millones de toneladas a su producción en el año 2013. Por otra parte, la Ilustración 3 se muestra la producción/demanda de pellets en el extranjero el año 2013 [millones de toneladas]:

Ilustración 4: Producción/Demanda de pellets a nivel mundial, 2013

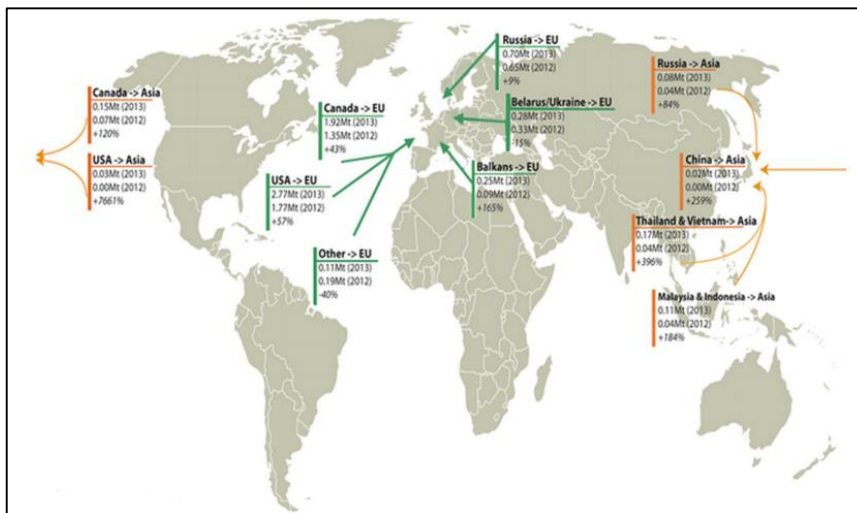


Fuente: AEBIOM European Bioenergy Outlook, 2014

Es por eso que la demanda no cubierta por la producción en la UE es respaldada por importaciones desde otras regiones del mundo, tales como Estados Unidos. Por otro

lado, Chile cubre el 0,1% de las entradas totales realizadas por la Unión Europea. A continuación, las gráficas que avalan dichas cifras:

Ilustración 5: Mapa de importaciones y exportaciones a nivel mundial de pellets de madera [Millones de Toneladas]

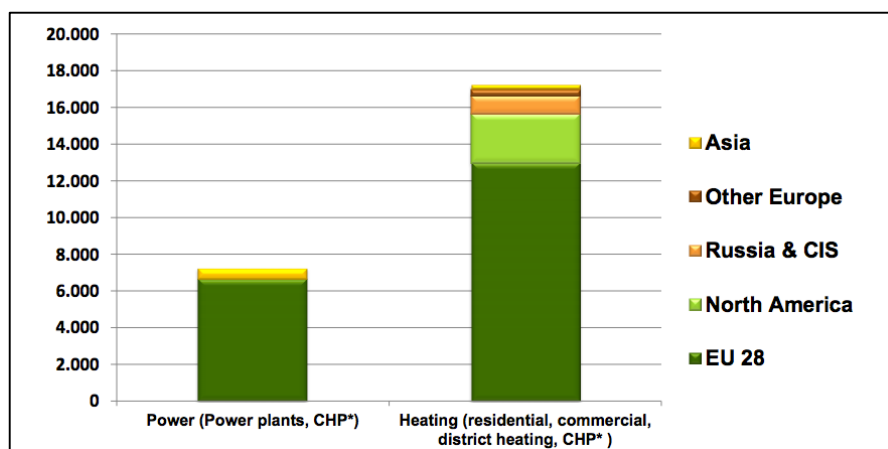


Fuente: AEBIOM European Bioenergy Outlook, 2014

El consumo de pellets de madera puede descomponerse en dos principales usos, en primera instancia con propósitos eléctricos y segunda para calefacción. Este último llegó a duplicar el consumo de éste para fines energéticos.

La Unión Europea encabeza la demanda con más de un 80% del consumo de pellets a nivel mundial. A continuación, se muestra un gráfico comparativo de ambos usos:

Gráfico 5: Consumo de pellets del año 2013 a nivel mundial - Electricidad v/s Calefacción [Miles de Toneladas]



Fuente: AEBIOM European Bioenergy Outlook, 2014

En cuanto al precio de venta del pellet en el mercado internacional, específicamente en el mercado europeo, los valores varían desde los 0,15 Euros/Kilogramo (formato de venta a granel), lo cual corresponde aproximadamente a 117 pesos chilenos por kilogramo). Hasta los 202 pesos chilenos (0,26 euros) por Kilo en formato de bolsas pequeñas [8]. Dichos precios son del mismo orden de magnitud que los precios manejados en Chile, los cuales tienen un valor cercano a los CLP\$200 en su formato de venta de bolsas pequeñas. Los detalles del precio de pellets en Chile se analizarán en profundidad en el análisis económico del presente informe.

Situación actual del Pellet de madera en Chile

El mercado del pellet de madera en Chile presenta tres grandes actores (productores), los cuales cubre la mayor parte de la demanda actual.

De la participación del mercado, la empresa Ecomas (www.ecomas.cl), contó con el 80% de la participación del mercado en el año 2013, mientras que sus otros dos productores corresponde a Andes Biopellet (www.andesbiopellets) y Propellet Chile (www.propellet.cl) [3].

Si se estima un consumo aproximado, en el año 2013 se lograron cerca de 30.000 toneladas [3]. En cambio para el 2014, las cifras señalaron cerca de las 45.000 toneladas [9].

Con el antecedente de la falta de oferta en el mercado del pellet el año 2014, se debe considerar cercano a las 6 mil toneladas [9], lo cual refleja que el negocio aún no consigue un equilibrio entre la oferta y la demanda. Dando así la posibilidad de entrada a nuevos competidores (productores).

Para analizar la factibilidad técnica y económica de la planta de producción de pellets de madera se debe analizar el mercado del aserrín, materia prima en la cual se basa la producción del biocombustible.

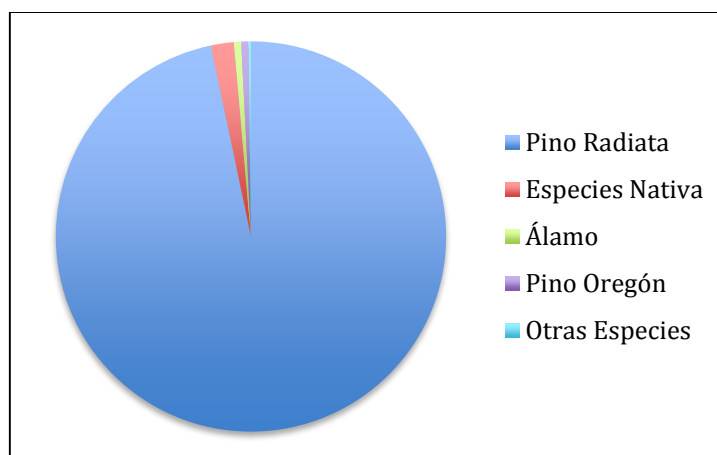
2.1.5. Mercado del Aserrín

La información presentada en esta sección fue extraída del estudio “Disponibilidad de Residuos Madereros” realizado por el Instituto Forestal, Comisión Nacional de Energía y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) el año 2007 [10].

Dado que el aserrín es el principal recurso para la producción del pellet de madera, a continuación, se presentarán datos del proceso productivo de la industria de la viruta, cuantificación de trozas y la producción de madera aserrada, con el objetivo de determinar la cantidad y disponibilidad de residuos aprovechables energéticamente (RAE) que se generan en el proceso de transformación primaria de la madera.

La especie pino radiata es la más utilizada en la industria del aserrío, abarcando el 96,7% del consumo, luego están las especies nativas con un 1,9%; álamo con 0,6%; pino oregón con 0,6% y otras especies con el 0,2% restante. Lo anterior queda reflejado en el Gráfico 11.

Gráfico 6: Especies utilizadas en la industria del aserrío



Fuente: Instituto Forestal, Comisión Nacional de Energía, GTZ, 2007

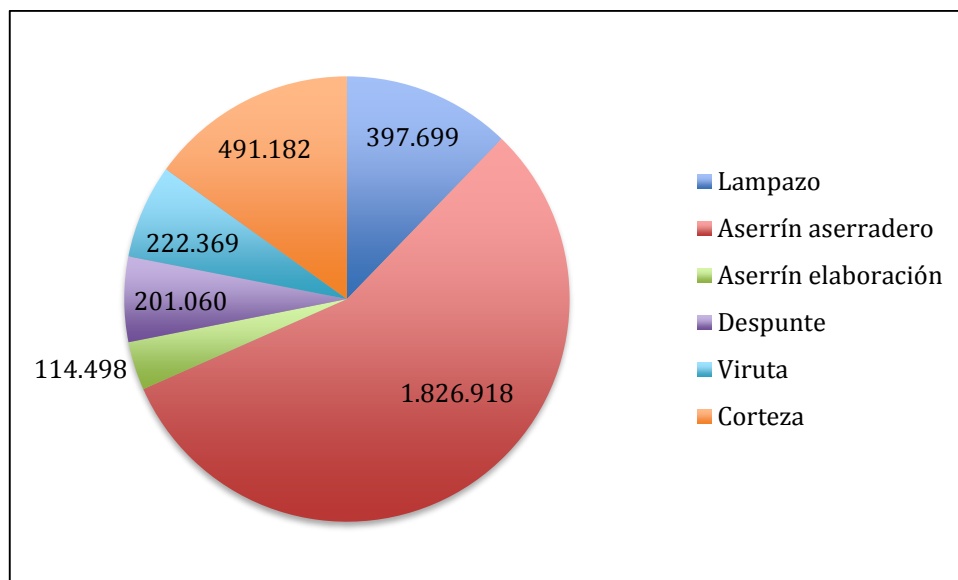
Los valores obtenidos, libres de corteza, muestran una producción total de madera aserrada de 5.555.154 [m³ SSC], en donde el 93,8% es aportado por los aserraderos permanentes, el 1,2% por los aserraderos móviles portátiles y un 5,0% por los aserraderos móviles tradicionales.

La relación entre los niveles de producción y consumo, entrega un rendimiento general de 52% de producción de madera aserrada, creando en el proceso residuos de lampazo y aserrín, además de un volumen astillas y tapas, provenientes de la utilización de los lampazos. Parte del volumen generado de madera aserrada, se reprocesa para formar madera elaborada o de re manufactura, con lo cual se concibe un nuevo volumen de restos, del tipo despunte, viruta y aserrín. Al considerar el total de consumo con corteza, los resultados muestran que el volumen de lampazo es de 611.844 [m³ SSC] (3,6%); el aserrín, proveniente de las dos etapas, es de 2.986.793 [m³ SSC] (17,4%); despuntes, 309.323 [m³ SSC] (1,8%); viruta, 342.106 [m³ SSC] (2,0%); y, por último, la corteza alcanza a 1.292.583 [m³] (7,5%), completándose un volumen total de RAE de 5.542.649 [m³ SCC], equivalente al 32,2% del volumen [scc] de trozas consumido. La diferencia de 67,8% se distribuye de la siguiente forma: 5.555.154 [m³ SSC] (32,3%) de madera aserrada; 1.915.659 [m³ SSC] (11,1%) de madera elaborada; 4.133.328 [m³ SSC]

(24,0%) de astillas; y 58.873 [m³ SSC] (0,4%) de tapas. El equivalente en unidades de peso del RAE es de 3.253.724 toneladas.

Dados los objetivos del presente informe, se les dará énfasis a los desechos aprovechables energéticamente (RAE), información que queda reflejada en el siguiente gráfico:

Gráfico 7: Toneladas según tipo de residuos [ton/año]



Fuente: Instituto Forestal, Comisión Nacional de Energía, GTZ, 2007

Disponibilidad y destino de los residuos generados en aserraderos

Un 56,6% de los residuos generados por los aserraderos se comercializan a distintas empresas y clientes; un 33,8% se auto consume en los mismos establecimientos (en calderas que generan vapor para secar la madera), un 5,8% se regala (comunidad y trabajadores de la empresa) y sólo un 3,8% se acumula para su disposición posterior o se abandona en los alrededores de las instalaciones, situación muy frecuente en aserraderos de tipo móvil (Tabla 7).

Tabla 7: Destino de los residuos según tipo (ton/año)

Tipo de residuo	Destino [ton/año]				Total	%
	Comercializa	Regala	Autoconsumo	Acumula		
Lampazo	298.660	29.690	59.477	9.872	397.699	12%
Aserrín aserradero	967.150	125.117	634.570	100.081	1.826.918	56,1%
Aserrín elaboración	61.626	6.614	43.119	3.138	114.498	3,5%
Despunte	77.621	3.262	120.146	31	201.060	6,2%
Viruta	75.066	8.847	136.751	1.704	222.369	6,8%
Corteza	327.415	21.739	129.725	12.302	491.182	15,1%
Total	1.807.538	195.270	1.123.788	127.129	3.253.724	100%
%	55,6%	6%	34,5%	3,9%	100%	

Fuente: Instituto Forestal, Comisión Nacional de Energía, GTZ, 2007

Precio de comercialización

El estudio en el cual se basó la información que será presentada a continuación no realizó un análisis en profundidad de los precios y sus registros, considerando así ser la de más alta dispersión de valores, por ende, los datos expuestos a continuación, deben tomarse como referencia.

El precio de comercialización de los desechos se presenta en la Tabla 8, pensando el valor de venta en el origen y puesto en planta. En ella, se puede observar que el valor promedio del aserrín puesto en el aserradero alcanza un valor de \$704 por metro estéreo⁷, mientras que su valor puesto en destino alcanza un valor promedio de \$1.313.

Tabla 8: Precios medios por unidad según tipo de residuos

Tipo de residuo	Precio de venta [\$/metro estéreo]	
	Origen	Destino
Lampazo	\$ 2.854	\$ 4.435
Despunte	\$ 3.421	\$ 4.900
Corteza	\$ 670	\$ 1.057
Viruta	\$ 746	\$ 1.229
Aserrín	\$ 704	\$ 1.313

Fuente: Instituto Forestal, Comisión Nacional de Energía, GTZ, 2007

⁷ 1 metro estéreo = una pila de 1 x 1 x 1 [m].

Debida a la baja densidad del aserrín, los costos asociados a transporte prácticamente igualan al costo de la materia prima, lo cual queda reflejado en la Tabla 8, en donde el precio promedio en las regiones consideradas es de \$704, lo cual corresponde al 54% del precio puesto en destino (\$1.313).

Como ya se mencionó anteriormente, los valores de los desechos (aserrín) varían sustancialmente por lo que a continuación se mostrarán los valores promedios por región⁸.

Tabla 9: Precio promedio [\$/m-e] de aserrín según región puesto en destino

Región	Número de muestras	Precio promedio [CLP\$/metro estéreo]	Precio promedio [CLP\$/tonelada]
V	1	2.500	9.259
VII	1	800	2.963
VIII	5	790	2.963
IX	18	874	3.237
X	5	2.690	9.963
XI	3	2.300	8.519
Total	33	1.313	6.325

Fuente: Instituto Forestal, Comisión Nacional de Energía, GTZ, 2007

En relación al destino del aserrín producido por aserraderos, la Región del Bío-Bío encabeza la producción total con 1.173.382 [m³/año], seguido por la Región del Maule con 432.284 [m³/año]. Lo anterior confirma que la disponibilidad de aserrín se concentra en la zona centro – sur de Chile.

Tabla 10: Destino aserrín aserradero por Región [m³/año]

Región	Comercializa	Regala	Autoconsumo	Acumula	Total
Coquimbo	31,5	0	0	0	31
Valparaíso	6.544	5.369	443	159	12.514
Lib. Bdo. O'Higgins	53.322	12.829	212	6.899	73.262
Maule	229.464	62.295	79.024	61.500	432.284
Bío-Bío	896.604	64.394	724.499	46.885	1.732.382
Araucanía	210.163	20.379	59.979	18.986	309.507
Los Ríos y de Los Lagos	91.659	15.568	99.645	13.091	219.963
Aysén	23	589	44	3.467	4.123
Magallanes	0	11.065	12.414	2.975	26.455
Metropolitana	113	0	0	9	122

Fuente: Instituto Forestal, Comisión Nacional de Energía, GTZ, 2007

⁸ Dichos valores se tomarán como referencia en los análisis de sensibilidad desarrollados en la sección “Análisis económico” con respecto a la variación del precio de insumo.

Como consideración extra se resalta la acumulación de aserrín en la Región del Maule, la cual, a pesar de no ser el mayor productor a nivel nacional, encabeza el volumen acumulado por año en el país con 61.500 [m^3 / año] de aserrín.

Al momento de seleccionar la ubicación de la planta de pellet de madera, se puede concluir que tanto el pino radiata, que es la materia prima con mayor disponibilidad en el mercado nacional, como así también el aserrín, el cual se concentra, principalmente, en la zona Centro Sur del país.

Sumado a lo anterior, se realizó un trabajo de campo para confirmar la disponibilidad de aserrín en la zona sur del país, las zonas recorridas contemplaron desde Loncoche hasta Puerto Varas, lo anterior debido a la facilidad del memorista para recopilar información en dichas regiones gracias a la presencia de contactos personales. A continuación, se presenta la información recopilada.

Tabla 11: Precios actuales aserrín

Proveedor	Ubicación	Producto Húmedo	Producto Seco	Precio húmedo
	Geográfica	m^3 -estereo/mes	m^3 -estereo/mes	Neto
		(Humedad 50%)	(Humedad 18%)	CLP\$/ m^3 -e en origen
Forestal Mininco / CMPC-TROMEN	Loncoche	3.100	0	2.000
ATESA	Los Lagos	1.350	0	1.000
MADEXPO	Osorno	1.500	0	1.000
Maderas Castilla	Osorno	400	40	800
Martin Iglesias	Osorno	20	0	4.000
Barraca Las Lilas	Osorno	190	0	2.300
Madesur	Osorno	525	0	2.000
Maderas GyD	Osorno	150	18	3.000
Promedio				2.013

Fuente: Elaboración propia

Se pudo identificar un proveedor de materia prima con disponibilidad para una planta de producción de tamaño medio. El cual corresponde al proveedor Forestal Mininco, aserradero ubicado en Loncoche. Dicho aserradero confirmó la disponibilidad de la materia prima, del 100% de su producción de aserrín, la disponibilidad para comercializar es del 50% del total de aserrín, valor que alcanza los 3.100 [m^3 /mes] de aserrín húmedo con 50% de humedad. El precio de la materia prima en origen es de CLP\$2.000. Se consideró relevante mencionar el hecho que el proveedor mencionado, tiene como

proveedor de recurso forestal a la empresa CMPC, quien, por términos de contratos, utiliza el 50% del aserrín producido por dicho aserradero.

2.1.6. Rango de precios de calefactores

Dadas las características geográficas de Chile, el acceso a combustibles y calefactores difiere en distintas zonas, por lo que sus rangos de precios y usos varían a lo largo del país. A continuación se presentarán los tipos de artefactos con mayor popularidad por región, como también algunas alternativas en las cuales el Gobierno de Chile presenta interés y fomenta su uso [11].

Tabla 12: Precio Calefactores Rancagua - Curicó - Talca - Chillán - Concepción - Los Ángeles

	Calefactor certificado leña	Calefactor no certificado leña	Pellet de madera	Parafina	Split calefactor A/C reversible	Gas licuado	Gas natural (Solo en Chillán y Los Ángeles)	Electricidad
Rango de precio del calefactor	\$170.000 a \$400.000	Prohibida su venta	\$500.000 a \$2.270.000	\$50.000 a \$500.000	\$200.000 a \$950.000	\$60.000 a \$110.000	\$133.000 a \$320.000	\$10.000 a \$200.000
Emissiones kg/vivienda por mes MP2,5	0.7	2.7	0.3	0.025	0	0	0	0

*Considera una casa tipo 2, calefaccionándose durante 8 horas al día a una temperatura de confort de 18°C y una demanda térmica mensual de 871 kWh

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2015

Tabla 13: Precio calefactores Temuco - Osorno - Valdivia

	Calefactor certificado leña	Calefactor no certificado leña	Pellet de madera	Parafina	Split calefactor A/C reversible	Gas licuado	Gas de cañería	Electricidad
Rango de precio del calefactor	\$170.000 a \$400.000	Prohibida su venta	\$500.000 a \$2.270.000	\$50.000 a \$500.000	\$200.000 a \$950.000	\$60.000 a \$110.000	\$133.000 a \$320.000	\$10.000 a \$200.000
Emissiones kg/vivienda por mes MP2,5	0.8	2.9	0.4	0.03	0	0	0	0

*Considera una casa tipo 2, calefaccionándose durante 8 horas al día a una temperatura de confort de 18°C y una demanda térmica mensual de 997 kWh

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2015

2.2. Antecedentes Legales

En la siguiente sección, se expondrá la información relacionada con la posición del Gobierno de Chile con respecto al uso del pellet de madera para calefacción, como también a los problemas medio ambientales y regulaciones legales que puedan afectar la demanda de dicho biocombustible en las distintas zonas del país.

2.2.1. Planes de descontaminación del Gobierno de Chile

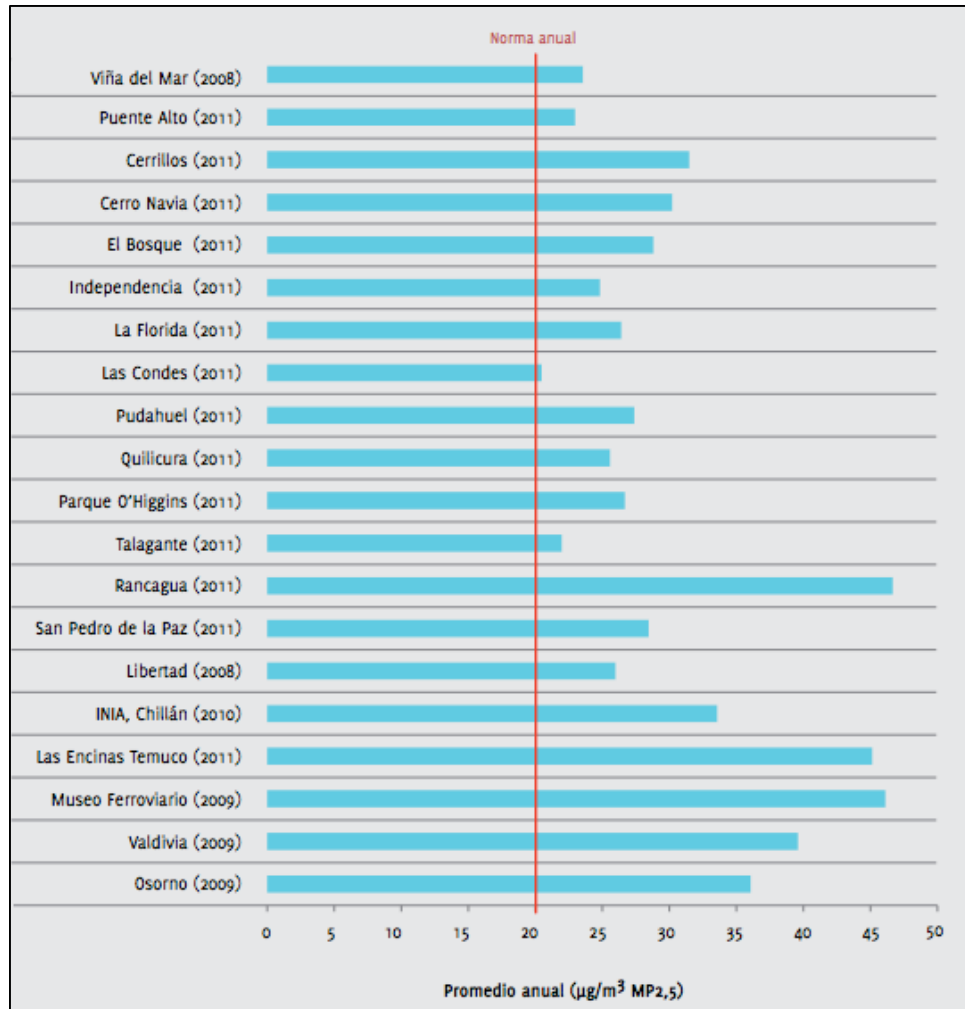
Hoy en día existen una serie de factores legales que podrían irrumpir en el uso del pellet de madera en Chile, es por ello que se explicará tanto la situación actual del país, como también algunas opiniones de expertos y planes del gobierno que aún no se implementan.

Un claro ejemplo de lo recién mencionado es el “Programa de Aire Limpio” del Gobierno de Chile, el cual tiene como objetivo controlar la contaminación a nivel nacional, focalizándose en impactos en la salud.

A nivel nacional, se encuentran vigentes normas primarias de calidad ambiental que regulan la concentración de los contaminantes del aire, nocivos para la salud. Dichas normas, regulan concentraciones máximas respecto a material particulado (tanto MP₁₀, como MP_{2,5}), Dióxido de Azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Ozono Troposférico (O₃), Monóxido de Carbono (CO) y Plomo (Pb).

Un claro ejemplo de lo recién mencionado, es la concentración de MP_{2,5} presente en distintas zonas del país, alcanzando valores de hasta un 200% de lo permitido por la norma anual, información que queda reflejada en la Ilustración 6.

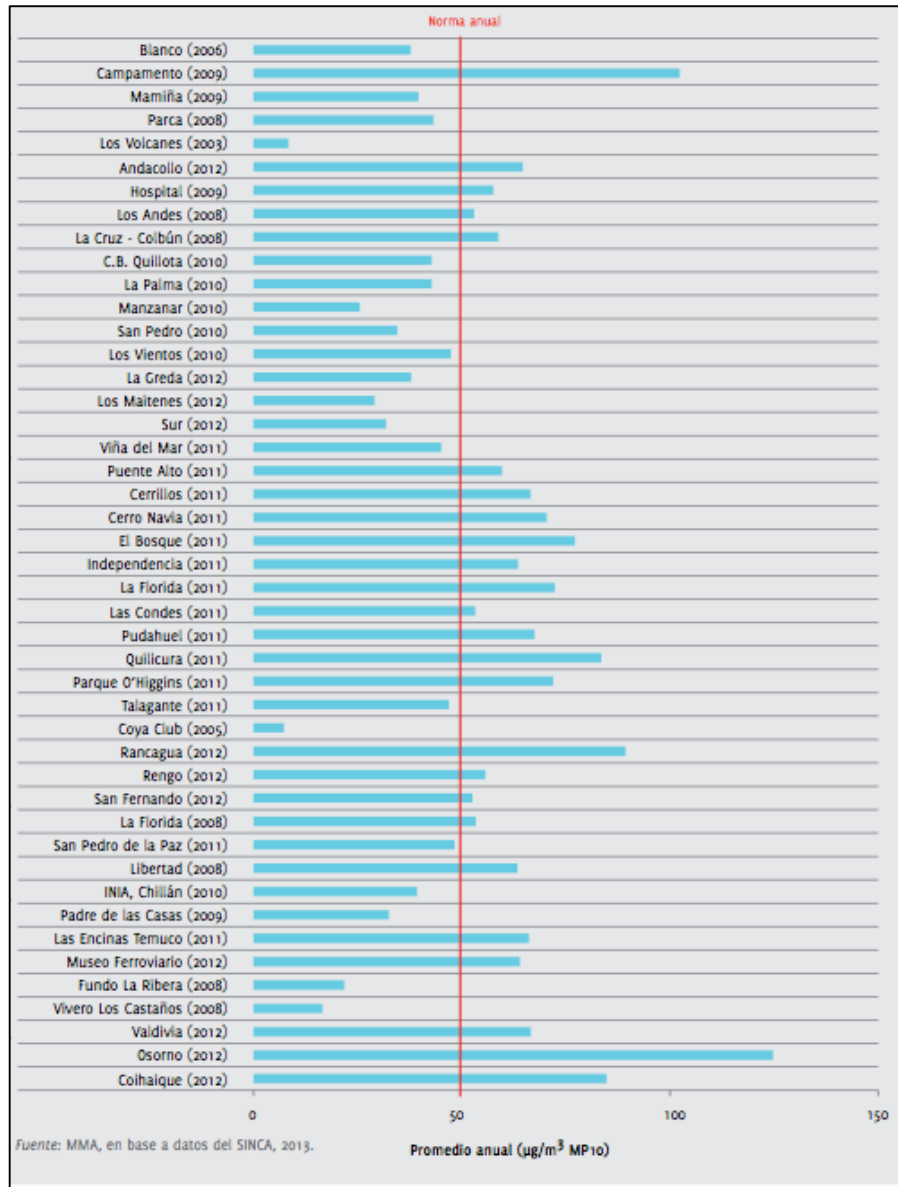
Ilustración 6: Promedio Anual MP_{2,5} en estaciones de monitoreo



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2014 [1]

En la Ilustración 1 [1], se puede observar la misma tendencia en la Región Metropolitana, como también las ciudades del sur del país tales como Temuco, Coyhaique, Osorno y Valdivia en cuanto a la presencia de MP₁₀ por sobre la Norma anual.

Ilustración 7: Promedio Anual MP₁₀ en ciudades de monitoreo



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2014 [1]

2.2.1.1. Principales Fuentes de Contaminación MP_{2,5} en Chile

Según la información entregada por el Gobierno, se consideran tres principales fuentes de contaminación, las cuales son las siguientes [12]:

Ilustración 8: Principales fuentes de contaminación MP_{2,5}



Fuente: Fernández G., Ministerio del Medio Ambiente, 2013

Siendo la zona norte la más afectada por la contaminación producida por la industria, la Región Metropolitana por las emisiones producidas por el transporte y, por último, la Zona Sur, la más afectada por el uso de leña.

2.2.1.2. Planes de descontaminación en Chile

El objetivo actual de la estrategia presentada por Gobierno de Chile, establece que, en el año 2018, se contará con un total de veinte planes vigentes, abarcando más de un 57% de la población y un 87% de la población expuesta a la contaminación. A continuación se presentará un cuadro resumen de la situación actual de planes de descontaminación en Chile [1].

Ilustración 9: Situación de Planes de descontaminación en Chile

SITUACIÓN	ÁREA
PLANES VIGENTES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tocopilla 2. María Elena - Pedro de Valdivia 3. Chuquicamata 4. Potrerillos 5. Paipote - Tierra Amarilla 6. Puchuncaví y Quintero (Ventanas)* 7. Metropolitana de Santiago* 8. Valle Central de la VI Región 9. Cautines 10. Temuco y Padre Las Casas*
ÁNTEPROYECTOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Calama (Plan de Gestión) 2. Huasco 3. Puchuncaví y Quintero (Ventanas)* 4. Talca - Maule 5. Chillán - Chillán Viejo 6. Temuco y Padre Las Casas (MP_{2,5})* 7. Osorno 8. Coyhaique
PROYECTOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Andacollo
ZONAS POR DECLARAR SATURADAS O LATENTES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Metropolitana de Santiago (MP_{2,5})* 2. Curicó - Teno 3. Gran Concepción (MP_{2,5}) 4. Los Ángeles 5. Valdivia 6. Coyhaique (MP_{2,5})

*Planes que están siendo actualizados.

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2014 [1]

Dentro de los esfuerzos del gobierno en sus planes de descontaminación ambiental, existen normas y programas que sobresalen del resto debido a su posible impacto en el mercado del pellet de madera. El primer punto corresponde a la Norma de emisión de calefactores, la cual podría llegar a limitar o fomentar el uso de pellets debido a la regulación que podrían llegar a tener los artefactos de calefacción existentes en Chile. El segundo aspecto relevante en los PDA, corresponde al proyecto de recambio de calefactores existentes en el país, los cuales buscan fomentar medios más eficientes para la calefacción como también la reducción de emisiones.

A continuación, se describirán los dos asuntos mencionados anteriormente, como también algunos temas relevantes de los Proyectos y Anteproyectos, los cuales ayudarán a entender con claridad la postura del Gobierno de Chile frente a la contaminación ambiental.

2.2.1.3. Norma de emisión de calefactores⁹

El mercado de calefactores a leña en Chile tiene como principal característica su masiva utilización en la zona residencial (específicamente la zona centro sur del país). Otro aspecto importante a destacar es que hasta el 2012¹⁰, los artefactos a leña no tenían criterios o estándares para la fabricación y comercialización, lo cual provocó una fuerte diferencia entre las características presentes en la tecnología que se encuentra hoy en día en los hogares (marcas, tamaños, diseños, materiales de construcción, durabilidad, calidad, control de emisiones, eficiencia y seguridad).

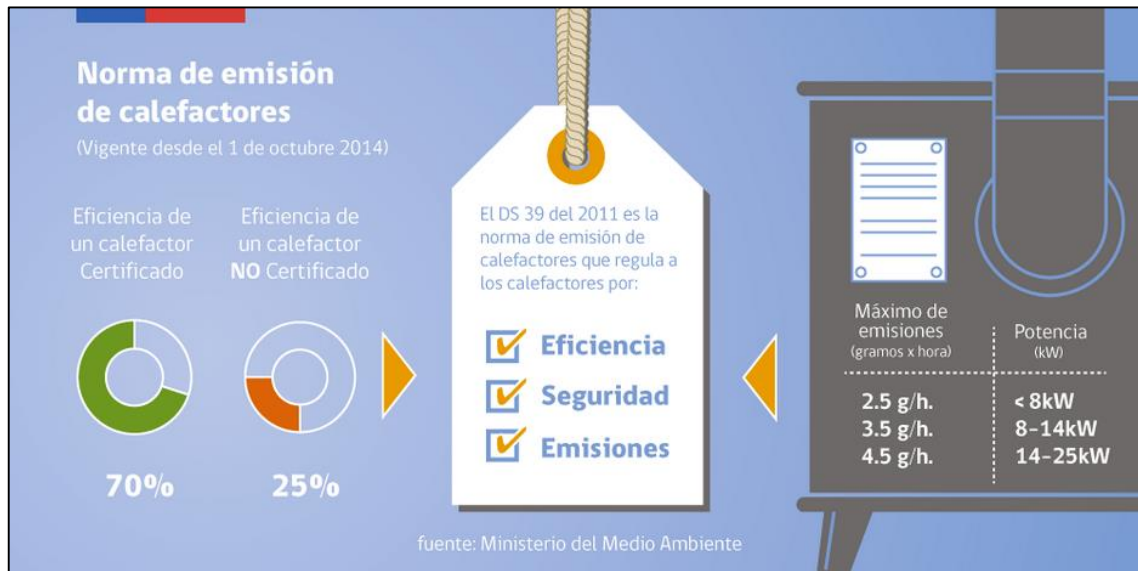
Durante el año 2011, el Ministerio del Medio Ambiente promulgó el Decreto Supremo N° 39, "*Norma de emisión de material particulado, para los artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y pellet de madera*", en adelante Norma de Calefactores, cuyo objetivo es proteger la salud de las personas, mediante el establecimiento de límites de emisión de material particulado aplicable a los artefactos nuevos que son comercializados en el país con potencia menor o igual a 25 kW.

A partir del 1 de octubre del 2014, entró en vigencia la Norma de emisión de calefactores, la cual los regula por eficiencia, seguridad y emisiones. Los límites de emisión para MP establecidos en la norma son asignados acordes a la potencia térmica nominal de cada artefacto, como se puede ver en la siguiente imagen:

⁹ Los datos mostrados en esta sección corresponden a la información mostrada por el Ministerio de Medio Ambiente a través de su página web [13].

¹⁰ Fecha en la cual se le atribuye competencia a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) para regular la certificación de los artefactos a leña.

Ilustración 10: Norma de emisión de calefactores



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente [13].

La Norma de Calefactores también prohíbe la comercialización de Calefactores a Leña que no cuenten con la certificación que garantiza emisiones, eficiencia y seguridad entregada por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). Dicha norma regulará también (a partir de octubre del 2016) a los calefactores a pellets.

En cuanto a los artefactos con potencias mayores a 25 [kW], la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) entrega la siguiente información en su página web [14]: *“Hasta el momento no existe una normativa chilena para la certificación de los artefactos o equipos de potencias mayores que 25 [kW], que utilizan biomasa como combustible”*.

2.2.1.4. Programa de Recambio de Calefactores

Dentro de los planes de descontaminación presentes en el programa del Gobierno de Chile existe uno de recambio de calefactores, el cual tiene como objetivo disminuir las emisiones y aumentar la eficiencia de la tecnología usada, actualmente, por la población chilena.

El protocolo de recambio:

1. Selección de beneficiarios
2. Retiro de calefactor
3. Instalación calefactor más limpio y eficiente

4. Capacitación del usuario
5. Identificación calefactores retirados
6. Destrucción del calefactor retirado
7. Valorización de los residuos.

A continuación, en la Tabla 14 se presentará un resumen del estado del programa de recambio de calefactores al año 2013 [12].

Tabla 14: Programa de recambio de calefactores

AI 2013	Nº recambios	Financiamiento	Estado
Rancagua	100	Privado	En ejecución
Rengo	504	MMA	Terminado
Curicó	470	MMA	En ejecución
Concepción	3.000	Privado	Terminado
Chillán	390	MMA	Terminado
Temuco	2.389	MMA	En ejecución
Valdivia	365	MMA	Terminado
Osorno	390	MMA	Terminado
Coyhaique	1.874	MMA	En ejecución
Total	9.500		

Fuente: Fernández G., Ministerio del Medio Ambiente, 2013

A lo anterior se agrega:

- Recambio de pellets en Temuco FNDR ¹¹ (600) (sector público y centros educacionales y organizaciones comunitarias)
- Recambio Aysén FNDR (600)
- Recambio Rancagua FNDR-Municipio-Codelco (5.000 en total)
- Recambio en Región Los Lagos FNDR (5.000).

Para describir de mejor manera la postura del Gobierno en cuanto al uso del pellet de madera a nivel nacional. A continuación, se describen algunos aspectos relevantes para el presente informe de los Anteproyectos y Proyectos, en los que se ha dado mayor énfasis dentro de la zona centro-sur del país. Adicionalmente, debido a su importancia a nivel nacional, se describirá la situación actual de la Región Metropolitana.

¹¹ FNDR: Fondo Nacional de Desarrollo Regional.

Región Metropolitana:

De acuerdo al Decreto Supremo (D.S.) N° 811/93 del Ministerio de Salud, se autoriza el uso de equipos calefactores a leña en viviendas y establecimientos públicos y privados en toda la región, sólo si están provistos de doble cámara de combustión.

Sin embargo, durante los días en que se haya declarado una condición de Alerta, Preemergencia o Emergencia Ambiental, **se prohíbe en toda la Región Metropolitana el funcionamiento de todo tipo de artefactos de calefacción residencial que utilicen leña y otros dendroenergéticos (derivados de la madera)**. Esta medida será fiscalizada por la SEREMI de Salud de la Región Metropolitana [15].

Dadas las prohibiciones legales del Gobierno de Chile al uso de pellets de madera en la Región Metropolitana, en episodios críticos ambientales, se descarta dicha zona como posible ciudad objetivo.

Chillán y Chillán Viejo¹²:

De acuerdo a la encuesta de consumo energético para calefacción y cocción en el sector residencial, CDT, 2014, la cantidad de estufas en la zona de Chillán y Chillán Viejo es de 43.650, número que no considera las 5.526 cocinas.

Nuevos proyectos inmobiliarios

Los nuevos proyectos inmobiliarios que se instalen en el área urbana de las comunas de Chillán y Chillán Viejo, que posean una superficie de construcción de vivienda individual superior a 100 [m²] o que su tasación comercial sea superior a 2.000 UF, deberán contar con un sistema de calefacción ya integrado a la vivienda y deberá utilizar un combustible distinto a la leña o bien instalar sistema de calefacción distrital.

Regulación referida al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos

A continuación, se mostrarán algunos puntos relevantes en cuanto a la regulación y uso de artefactos para la calefacción descritos en el Anteproyecto ambiental de Chillán y Chillán Viejo.

¹² La situación descrita en esta sección se basa en el documento oficial del Ministerio del Medio Ambiente en donde se aprueba el Anteproyecto PDA [30].

- Prohibición de uso de chimeneas de hogar abierto
- Prohibición de quemar en los calefactores, carbón mineral, maderas impregnadas, residuos o cualquier elemento distinto a la leña, briquetas o pellets de madera
- Prohibición de calefactores a leña en el interior de edificios y establecimientos comerciales
- A partir del 1 de enero del año 2024, se prohíbe el uso de calefactores que no cumplan la norma de calefactores
- Transcurrido 2 años desde la publicación del presente decreto en el Diario Oficial, se prohíbe el uso de calefactores a leña en los órganos de Administración del Estado, establecimientos educacionales municipales, y salas de espera de consultorios y centros comunitarios de salud familiar de la zona saturada
- Compensación de emisiones de material particulado de proyectos con exigencias de compensación en el marco del SEIA¹³
- Ejecución de un programa de recambio voluntario de sistemas de calefacción a leña existentes que recambiará 10.000 artefactos a leña¹⁴
- Implementación de oficina específica para la operación y gestión de los programas de recambio de sistemas de calefacción a leña
- Regulación en la operación de calefactores y cocinas a leña durante episodios de alerta, preemergencia y emergencia ambiental
- Artefactos que cumplan con la norma DS39/2012 pueden ser utilizados
- Artículo 70: Se multará a vendedores de leña húmeda durante los episodios críticos
- Artículo 77: El Gobierno regional proveerá la I+D en las áreas de mejoramiento tecnológico de artefactos
- Artículo 79: Ministerio de Energía promoverá el buen uso de biomasa, buen uso de calefactores y programa de recambio.

Dado el interés demostrado por el gobierno en sus Planes de descontaminación Atmosférica, se asumirá que los puntos descritos anteriormente tienen un alineamiento similar para todas las regiones de la zona centro - sur de Chile, en donde se presenten problemas de contaminación atmosférica.

Comuna Los Ángeles:

Actualmente el proceso de elaboración de plan de descontaminación atmosférica está en estado de desarrollo.

¹³ SEIA: Servicio de Evaluación Ambiental, Gobierno de Chile.

¹⁴ Artículo 20 del Anteproyecto: Financiamiento sectorial y/o FNDR, de los 10.000 equipos que combustionen leña en la zona saturada, en un plazo de 8 años. Al menos 5.000 recambios serán por sistemas de calefacción que utilicen un combustible distinto a la leña.

Temuco y Padre las casas:

Al igual que en el caso de Chillán y Chillán Viejo, los datos presentados a continuación, están basados en la información entregada por los documentos oficiales del Ministerio del Medio Ambiente, en sus expedientes electrónicos de Planes y Normas [16].

Según la actualización de inventario de emisiones, 2010, el número de artefactos en Temuco y Padre Las casas es de 74.440, de los cuales 38.398 corresponden a calefactores de combustión lenta.

Tabla 15: Calefactores presentes en Temuco y Padre Las Casas

Tipo de Artefacto	Nº de artefactos en Temuco y Padre Las Casas
Cocina a Leña	29.148
Salamandra	5.919
Calefactor Combustión Lenta	38.398
Chimenea, Insert u Otro	975
Total	74.440

La implementación del programa de Recambio de artefactos, comenzó el año 2011, en donde se realizaron 2.528 cambios de calefactores en viviendas y 600 calefactores en diversas instituciones educacionales, organizaciones y, corporaciones sin fines de lucro, de Temuco y Padre Las Casas. Dicho avance significa un alcance de 26% de lo comprometido a diez años (artículo 11 del PDA).

En el borrador N° 3 del anteproyecto PDA MP_{2,5} de Temuco y PLC (febrero 2014), considera en el programa de recambio de calefactores, al menos, 2.700 aparatos a leña anuales (calefactores y cocinas) en la zona saturada, de los cuales 1.200 deberán utilizar combustible distinto a leña (pellets por ejemplo)¹⁵.

Talca y Maule [17]:

Se presentarán los puntos con mayor relevancia del anteproyecto de plan de descontaminación atmosférica por MP₁₀, para las comunas de Talca y Maule. Dicho anteproyecto fue aprobado el día 22 de diciembre del año 2014 por el Ministerio del Medio Ambiente. Su estado actual es de Consulta Pública, por lo que se revela a continuación, puede estar sujeto a cambios.

¹⁵ Dicho ejemplo fue citado textual del borrador del Anteproyecto.

Como primer antecedente importante en la región de Talca y Maule, la regulación referida al uso y mejoramiento de la calidad de los artefactos prohíbe la utilización de chimeneas de hogar abierto destinadas a temperar viviendas y establecimientos públicos o privados, además de la quema en los calefactores de cualquier elemento distinto a la leña, briquetas o pellets de madera (Artículo 17 del anteproyecto).

En la siguiente tabla, se mostrarán medidas que se harán efectivas, luego de transcurrir un tiempo determinado desde que sea publicado el decreto en el Diario Oficial.

Tabla 16: Prohibiciones zona Talca y Maule

Artículo nº	Tiempo desde publicación	Prohibición de
18	3 años	Cocinas a leña y calefactores a leña tipo salamandras y artesanales.
19	5 años	Calefactores a leña del tipo cámara simple que no cumplan con la norma de calefactores
20	10 años	Artefactos que no cumplan con la norma de calefactores
21	18 meses	Calefactores a leña de potencia menor a 25 kilovatios térmicos en todos los Órganos de la Administración del Estado
22	18 meses	Calefactores a leña de potencia menor a 25 kilovatios térmicos en los establecimientos comerciales, restaurantes, pubs, hoteles, oficinas comerciales y de servicios.

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2014

Sumado a las prohibiciones de la Tabla 8, el Artículo 23 del mismo decreto establece lo siguiente:

*“En el plazo de 12 meses contados desde la publicación en el Diario Oficial del presente decreto, la SEREMI del Medio Ambiente de la Región del Maule en conjunto con los organismos competentes, diseñará y pondrá en marcha un programa de recambio voluntario de calefactores y cocinas a leña existentes en la zona saturada... **Dicho programa deberá contemplar, con fondos sectoriales o del FNDR, un recambio de al menos 13.000 artefactos existentes a leña, en el periodo de implementación del Plan...**”* Los cuales deberán cumplir con la norma de calefactores ya mencionada.

2.2.1.5. Actores sociales

Actualmente, el mercado del pellet no ha logrado ser del todo conocido a nivel nacional. Esto se debe a que el negocio aún se encuentra en proceso de maduración. El tema ha dado de qué hablar, pero todavía no ha logrado concientizar a la población, y más aún dar a conocer sus beneficios.

Los antecedentes que expone la prensa chilena, pueden ser directamente incidentes en el uso de este biocombustible, y por ende influenciar a la población.

Televisión nacional de Chile:

“Subsidio para el recambio de calefactores: qué debes saber” [18]

El artículo informa que una persona puede recibir un 90% de ayuda si opta por un sistema con pellet y, por el contrario, un 30% en caso que funcione a leña. Se menciona también, los pasos a seguir para postular al subsidio, como también los mecanismos de selección de beneficiarios.

“Gobierno pone fecha para fin de calefactores contaminantes” [19]

A partir de noviembre de este año, más de cien mil calefactores deberán ser dados de baja en la región Metropolitana.

“El subsecretario de Medio Ambiente, Marcelo Mena, explicó en 24Horas.cl que en unos meses más comenzará una fuerte fiscalización a los calefactores de leña que incumplan la norma del plan de descontaminación para Santiago.”

Se detalló también, que actualmente, hay 120 mil calefactores operando en la capital, de los cuales “más del 99% no cumple la norma”. El Seremi de Saludo, aplicarán multas de al menos 500 mil pesos a las personas que mantengan en funcionamiento aparatos prohibidos.

El mercurio:

“El boom del pellet para calefacción: demanda se duplica en un año y productores no logran abastecer el mercado” [9].

El reportaje entrega antecedentes en base a entrevistas con diversos actores del mercado nacional del pellet de madera, entre ellos, Felipe Salazar, gerente general de la firma Ecomas, la mayor productora de pellets en Chile.

Dentro de la información mostrada, se destaca que el precio de los pellets en el año 2014 aumento en un 30% con respecto a otros años, existió un exceso de demanda que se aproxima a 6 mil toneladas de pellets, lo cual provocó problemas en la población para encontrar dicho combustible en el mercado local.

Dicho reportaje fue citado por la revista Lignum, revista técnica del sector forestal respaldada por el grupo editorial EDITEC especializado en temas técnicos y económicos en Chile. Lo cual de cierta manera, da sustento a la información mostrada.

2.3. Antecedentes Técnicos

Con la finalidad de entregar la información básica necesaria para realizar el análisis de factibilidad técnica en la producción de pellets de madera en Chile, a continuación, se expondrán los antecedentes técnicos que sustentarán dicho análisis. Sumado a lo anterior, se describirá la información necesaria para poder realizar una comparación de las ventajas que tiene el pellet de madera frente a otros combustibles.

2.3.1. Combustibles madereros

A continuación se presentarán los combustibles madereros comúnmente utilizados tanto a nivel mundial como local¹⁶:

Aserrín:

El aserrín corresponde a un residuo de la industria forestal, constituido por un conjunto de partículas finas, con una granulometría entre 1 y 5 [mm]. Este desecho se deriva del corte de árboles en el lugar de cosecha y canchas de trozado, además del proceso de aserrado y dimensionado de la madera, siendo este último el mayor contribuyente en el volumen de generación.

Las características del aserrín dependen, principalmente, de la demanda de los productos principales de la industria forestal, tales como tablas y vigas, además de la tecnología de corte utilizada, dado que sierras más gruesas producen aserrín de mayor granulometría, y entre más pasadas realice el elemento de corte, aumenta el flujo de los restos.

En cuanto a la humedad del aserrín, esta viene dada por la cantidad de agua presente en la madera al momento de ser tratada, la exposición del aserrín a la humedad del medio ambiente y el transporte de este. Dependiendo de las necesidades del cliente y tipo de producto a comercializar, la madera aserrada puede ser secada antes de su tratamiento, dando como resultado aserrín seco.

En la Tabla 17 se muestran las características más relevantes del aserrín proveniente de Pino Radiata.

¹⁶ La descripción de los combustibles madereros fue extraída de la memoria “EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLE SÓLIDO A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL EN LA REGIÓN DE LOS LAGOS” [22]

Tabla 17: Características aserrín de Pino Radiata

Característica	Unidad	Valor
Poder Calorífico Inferior	[kcal/Kg]	3.948 (Con humedad del 10%)
	[kcal/Kg]	1.474 (Con humedad del 56%)
Poder Calorífico Superior	[kcal/Kg]	4.800 (Seco)
Humedad	[% en peso]	25-40 (Base húmeda)
Densidad Básica	[Kg/m ³]	400 (Con 30% de humedad)
Densidad Aparente	[Kg/m ³]	167 (Con 15,5% de humedad)
Porosidad	[% en volumen]	75-90
Cenizas e Impurezas	[% en peso]	0,5 - 2
Emisiones CO ₂	[Kg gas/Kg combustible]	1,85
Valor Comercial	[\$CL/m ³]	1.700 - 2400

Fuente: Fredes, 2014.

El aserrín posee diversos usos, entre los que destaca su utilización directa como fuente alternativa de combustible en diferentes calderas localizadas en las plantas industriales para la generación y autoabastecimiento de energía, además de su uso seco en calefactores domésticos. Otra aplicación es como materia prima para la producción de carbón artificial, briquetas y pellets, cuya elaboración se realiza a partir de procesos de compactación para reducir los problemas de almacenamiento, manipulación, transporte y combustión del residuo. El proceso anterior le confiere al aserrín mayor homogeneidad, poder calorífico superior al del material original, limpieza y facilidad de manejo. Sin embargo, dado que es necesario el tratamiento previo, se encarece el producto final.

El principal problema del uso directo del aserrín como combustible, es el alto contenido de humedad que posee, especialmente en la zona sur de Chile, lo que conlleva a una utilización ineficiente de su poder calorífico, producto de la cantidad de energía necesaria para calentar el aire sobrante y vaporizar la humedad que hay en el residuo y la humedad formada por la combustión que se pierde en el equipo de la chimenea, como calor latente.

La humedad es determinante en el valor térmico de la quema de los residuos madereros, y por ende en la eficiencia de la combustión, que puede disminuir de 17,8 [MJ/Kg], con 10% de humedad, y una eficiencia de combustión del 78%, a 10 [MJ/Kg] al 50% de humedad y un 67% de eficiencia. Cuando el contenido de humedad sube al 68%, la quema del aserrín se vuelve difícil, produciéndose un bloqueo del horno donde la combustión ya no es sostenible en el tiempo. Además, la utilización permanente de residuos demasiado húmedos o que contengan una concentración importante de impurezas genera un desgaste excesivo del equipo de combustión y una falsa economía, dada por la necesidad de utilizar mayores volúmenes del residuo y cámaras de combustión más grandes para realizar el proceso.

Otros usos del aserrín corresponden a la utilización de este como materia prima para la fabricación de ladrillos para la construcción, bloques, molduras, paneles aglomerados y MDF, además de su uso como sustrato acondicionador de suelos, dado que entrega materia orgánica. Esta junto con la aplicación en mezcla de urea y tierra, logra una correcta relación carbono nitrógeno propicia para el desarrollo de plantas y vegetales. Otra alternativa para la utilización de aserrín es su inoculación con algunos hongos comestibles para su cultivo.

Para todos los procesos anteriores es importante considerar el almacenamiento del aserrín, puesto que su humedad depende en gran medida de las condiciones ambientales. Durante el almacenado de los residuos de madera, se produce una serie de procesos termogénicos debido a la acción de las células vivas de la madera, la actividad biológica de microorganismos como bacterias y hongos, y fenómenos de oxidación química e hidrólisis ácida de los componentes de la celulosa, que ocasionan deterioros y pérdidas energéticas en los materiales. La liberación de calor en las pilas de almacenaje depende, además de la temperatura ambiente, de las precipitaciones y tamaño, además de su compactación de la pila. La temperatura al interior del cúmulo de residuos, puede alcanzar sobre 50° C durante las primeras semanas de almacenamiento, estabilizándose y disminuyendo de forma progresiva. Sin embargo, bajo determinadas condiciones pueden producirse fenómenos de carbonización o ignición espontánea de las pilas. Por lo anterior, los residuos de madera deben ser vigilados y aireados o secados para su ulterior utilización, o ser objeto de un movimiento rápido de inventario y utilizarse según vayan llegando al proceso, considerando como recomendación no hacer pilas de más de 50 [m³] con 4 [m] de altura para evitar la compactación del material y controlar la temperatura de su interior para voltear el residuo cuando se sobrepase los 60° C.

A pesar de lo anterior, los volúmenes de aserrín principalmente de aserraderos y canchas de trozado siguen incrementándose, generando problemas ambientales como contaminación de suelos y cursos de agua, además de riesgos de incendios y auto combustión. Actualmente, este aserrín muchas veces es quemado, lo cual no se aconseja debido a que el fuego en las montañas generadas por su acumulación es muy difícil de controlar y puede rebrotar varias semanas después, mientras que el aserrín producto de la corta de árboles en el lugar de la cosecha no presenta problemas en cuanto a cantidad, quedando sobre el terreno e incorporándose al suelo, mejorando su fertilidad.

Leña:

La leña corresponde a una porción de madera en bruto de troncos, ramas y otras partes de árboles y arbustos, utilizada como combustible sólido. Incluye toda la madera obtenida de los bosques, o de cualquier especie leñosa, tanto forestal como agrícola, que conserva la composición original de la madera y su formato.

En Chile, este recurso proviene fundamentalmente del bosque nativo con entre un 60 y 70% de la participación en la demanda, siendo el porcentaje restante cubierto por plantaciones de especies exóticas y matorrales.

El proceso productivo tradicional de leña comprende desde la producción en el bosque hasta su disposición para ser comercializada. A nivel nacional, la extracción de leña de origen nativo está regulada por el decreto de Ley N° 701 (1974), el cual establece la obligatoriedad de contar con Plan de Manejo para la intervención de los bosques con el objetivo de fomentar el uso racional del recurso y asegurar la reposición, preservación, mejoramiento y acrecentamiento de dichos recursos y su ecosistema. La extracción puede ser realizada de forma manual o mecanizada, siendo las intervenciones más utilizadas el raleo y la extracción selectiva. Luego de que el árbol es volteado, se procede a su trozado y desrame para, posteriormente, transportarlo hasta una cancha donde se fracciona y almacena al aire libre, con las dimensiones de leña dando inicio al secado. Pasado unos meses, el producto es comercializado y distribuido hasta llegar al usuario final. Todo el proceso está afecto a optar a una certificación voluntaria que acredita el origen y calidad del combustible a comercializar.

La leña tiene su origen común en múltiples y pequeños productores, convirtiéndose en muchos casos, fuente importante de ingresos económicos en ciertas ciudades del país. Sin embargo, en muchas ocasiones, el negocio de la leña se realiza de manera informal, lo cual conlleva la venta de un combustible de baja calidad e impactos negativos en los bosques de los cuales se extrae. Por esta razón, en el año 2009 se crea la Corporación Nacional de Certificación de Leña con el objetivo de formalizar y regular el mercado, agregar valor al producto, mejorar la rentabilidad y sustentabilidad del manejo forestal, además de disminuir la contaminación del aire a partir del uso de leña con características establecidas. La certificación es una herramienta de mercado voluntaria para los productores de leña, que busca disminuir la venta informal, la evasión de impuestos, la contaminación del aire por uso de leña de baja calidad, además de impulsar la correcta entrega de información a los consumidores para su compra. Se establece como un requisito fundamental para una leña de buena calidad, que el contenido de humedad de este combustible sea inferior al 25%, puesto que cuanto mayor es el porcentaje de humedad, menor es el poder calorífico del mismo, además de que una elevada proporción de humedad en la madera empleada como combustible, predispone a la presencia de gases sin quemar y a la condensación de vapor de agua y de alquitrán por sobre las paredes del equipo de combustión causando incrustaciones. Además, la certificación sugiere que el diámetro de las trozas no supere los 16 [cm] y su largo se encuentre entre los 25 y 30 [cm].

El acopio es otro factor importante en la calidad de la leña. Si bien no está establecido, la forma más común de almacenamiento es bajo techo, manteniendo la leña encastillada o arrumada. Los acopios incorrectos de leña en lugares con ventilación insuficiente retardan el proceso de secado y favorecen la llegada de roedores.

El poder calorífico de las especies madereras depende de su densidad y humedad, siendo mayor a medida que la densidad aumenta, pero a su vez demora más el secado.

A continuación, en la siguiente tabla, se presentan las principales características de la leña proveniente de las especies forestales más abundantes en Chile, Eucaliptus y Pino Radiata.

Tabla 18: Características leña de Eucaliptus y Pino Radiata

Característica	Unidad	Especie		
		Eucaliptus	Pino Radiata	
Poder Calorífico Inferior	[kcal/Kg]	4.311 - 4.339	4.501	
Poder Calorífico Superior	[kcal/Kg]	4.620 - 4.648	4.810	
Contenido energético al 20% de humedad	[GJ/m ³]	5 - 5,5	4	
Densidad	Anhida ¹⁷	[Kg/m ³]	800	454
	Básica ¹⁸	[Kg/m ³]	623	429
	Nominal ¹⁹	[Kg/m ³]	720	459
	Aparente	[Kg/m ³]	445	304
Cenizas	[% en peso]	0,25 - 0,45	0,35	
Valor Comercial	[\$CL/m ³]	24.000	20.000	
Humedad	[% en peso]	20 - 60		
Emisiones CO₂	[Kg gas/Kg	1,85		
	combustible]			
Emisiones MP₁₀	[Kg/t]	13,5 - 24,7		

Fuente: Fredes, 2014

El principal uso que posee la leña es el energético, siendo mayormente utilizado a nivel residencial con cerca del 60% del total nacional. A diferencia de casi la totalidad de los países de Latinoamérica, Chile se distingue por destinar la mayor porción del consumo de leña a calefacción, mientras que en otros países el uso de leña predomina en actividades domésticas como cocción de alimentos, y calentamiento de agua para aseo personal, ropa y bebestibles.

La utilización de este recurso crece a medida que se avanza hacia el sur del país y principalmente en los estratos socioeconómicos más bajos debido a aspectos culturales, facilidad de acceso, precio en relación a otras fuentes combustibles y la relativa baja inversión que demanda la adquisición del artefacto.

¹⁷ Anhida: Masa y volumen al 0% de humedad.

¹⁸ Básica: Masa seca y volumen a una humedad mayor al punto de saturación de la fibra.

¹⁹ Nominal: Masa y volumen al 12% de humedad.

Dentro de las ventajas que acarrea el uso de leña como combustible están la disminución de la vulnerabilidad energética de las regiones en las que el recurso es abundante, su carácter renovable y su conveniencia en precio.

Por otro lado, las principales externalidades negativas relacionadas al consumo de leña están asociadas al deterioro de la calidad del aire por la utilización residencial de leña húmeda, especialmente en las ciudades centro y sur del país, lo cual provoca fuertes impactos en la salud de la población chilena. A continuación en la Tabla 19 se presentan los factores de emisión de los principales contaminantes producidos en los equipos de combustión más utilizados a nivel residencial, según el contenido de humedad de la leña utilizada. Se observa una clara disminución de las emisiones a medida que se utiliza un combustible más seco.

Tabla 19: Factor de emisiones contaminantes para cocinas a leña y estufas de combustión lenta y doble cámara

Rango % de humedad leña	Factor de emisión cocina a leña [g/Kg] de leña					
	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	Nox	COV	Sox
(Base húmeda)						
0-20	19,2	18,6	126,3	1,3	114,5	0,2
20-30	30,9	30,1	401	1,3	363,5	0,2
30-40	90,1	87,6	1139,7	1,3	1033,2	0,2
Mala utilización	76	73,9	1050,5	1,4	241,2	0,2
Rango % de humedad leña	Factor de emisión calefactor cámara doble [g/Kg] de leña					
	MP ₁₀	MP _{2,5}	CO	Nox	COV	Sox
(Base húmeda)						
0-20	8,3	8,1	115,4	1,4	26,5	0,2
20-30	13,5	13,1	366,4	1,4	84,1	0,2
30-40	39,3	38,2	1041,3	1,4	239,1	0,2
Mala utilización	76	73,9	1050,5	1,4	241,2	0,2

Fuente: Segura C., Universidad de Concepción, MMA

El uso intensivo y no regulado de leña es uno de los principales factores de presión sobre la masa boscosa, especialmente nativa, interviniendo en la pérdida de funciones eco sistémicas como los ciclos hidrológicos, el uso, erosión y manejo de suelos, en la biodiversidad, hábitat de especies y paisaje. Por ello, se recomienda que la tasa de extracción del recurso forestal no supere a la tasa de renovación en los bosques nativos, en los cuales el ciclo de rotación puede exceder los 80-100 años, lo que conlleva a una cosecha no mayor de un promedio del 1% del bosque al año.

Otro problema está asociado al alto costo de producción. Las fuentes de biomasa forestal están altamente distribuidas y por ende las distancias de transporte tienden a ser largas, excepto en el procesamiento de residuos de las industrias forestales. Debido a que gran parte de los costos del abastecimiento de leña tiene que ver con su transporte, su competitividad se ve fuertemente afectada por la mayor o menor disponibilidad de infraestructura vial, además de los costos del combustible utilizado para el transporte. La

competitividad de la leña también es mermada por su relativa baja capacidad calórica y alta proporción de agua, que en la madera verde alcanza la mitad de la masa total, mientras que en temporadas de cosecha ideal disminuye a un tercio. Por otra parte, el consumo de leña tiene un comportamiento estacional, concentrándose mayormente en el periodo de invierno.

Briquetas:

Las briquetas son un tipo de biocombustible sólido densificado en forma de unidades cúbicas o cilíndricas de diferentes dimensiones, obtenido a partir de la compresión mecánica de biomasa pulverizada. La materia prima de este combustible puede ser biomasa forestal, procedente de bosques, aserraderos y centros de transformación; biomasa herbácea, frutal, residuos urbanos, carbón vegetal o combinaciones de ellas.

Generalmente, están hechas con materia residual comprimidas, como cascarilla de arroz, bagazo de caña de azúcar, residuos de pulpa de papel, papel, cáscara de coco, residuos de algodón, cartón, carbón residual de desechos y aserrín de madera. Se aglomeran con agua y en algunos casos con otros residuos orgánicos, como por ejemplo purines de cerdo, resinas de árboles o arcilla, la cual luego de ser incinerada puede tener propiedades puzolánicas y ser utilizada para la fabricación de cementos. Sin embargo, las briquetas más comunes son las elaboradas a partir de residuos de la madera como aserrín, viruta, chips, restos de poda y corteza de árbol, siendo la más manipulada la briqueta de aserrín también conocida como leñeta, que no utilizan ningún tipo de aglomerante ya que la humedad y la propia lignina de la madera liberada, bajo la aplicación de alta presión y temperatura, funciona como pegamento natural. Esta leña de aserrín compactado se ha convertido en el principal sustituto de la leña tradicional por su mayor poder calorífico, capacidad de encendido, bajo contenido de cenizas y humo, además de evitar la tala indiscriminada de bosques.

La presentación comercial de las briquetas es variada, siendo común encontrarlas en forma cilíndrica, de prisma hexagonal, forma octogonal o con orificios en su centro para acelerar su combustión, y de forma rectangular, con esquinas redondeadas para evitar el quiebre, si impactan con el suelo o sufren algún choque durante el transporte y aumentar su duración al arder más despacio. Pese a esto, las más demandadas son las briquetas cilíndricas macizas por su similitud visual con la leña, con un diámetro entre 5 y 15 [cm] y un largo entre 20 y 50 [cm]. Su formato de venta varía en paquetes de 7, 10 o 15 [Kg].

El proceso de fabricación de briquetas, principales características, como también las principales normas existentes a nivel mundial sobre este combustible como también de los pellets de madera es detallado en **Anexo C1: Briquetas.**

El modo de empleo de las briquetas es similar al de la leña tradicional, pudiéndose utilizar en cualquier artefacto de combustión residencial, siendo su principal función la entrega de energía calórica frente a condiciones extremas de temperatura, como en temporadas invernales. Además, se utilizan para el funcionamiento de calderas industriales, en la industria de ladrillos, cal, cemento, metalurgias, secadores, tostadores y demás procesos que consumen grandes cantidades de madera.

La briqueta puede seccionarse fácilmente sin necesidad de herramientas para poder ser utilizada en chimeneas de menor tamaño o controlar la potencia de la combustión.

Las principales ventajas asociadas a la elaboración y consumo de briquetas radican en el carácter sustentable y renovable del producto, al ser elaborado en base a residuos forestales y agrícolas. Esto favorece la limpieza y protección del medioambiente, al utilizar, por ejemplo, los residuos de aserraderos que ascienden al 60-70% del total del volumen del tronco tratado y disminuyen el riesgo de incendios forestales en un 70%, causados por el abandono de residuos durante labores de tala y las altas temperaturas estivales.

Otro aspecto positivo de su uso, es la posibilidad de sustituir a la leña ocupando el mismo equipo de combustión, además de que, por su homogeneidad, composición libre de tóxicos, alto poder calorífico y baja humedad, poseen un rápido encendido, no emiten humo, y su formación de cenizas es menor. También arden más lento, permaneciendo mayor tiempo en el hogar de combustión antes de desintegrarse. Además, es un combustible fácil y seguro de usar y manipular, pues no ofrece ningún riesgo de combustión espontánea, evitando episodios de quemaduras o lesiones ocasionadas por líquidos inflamables, siendo cómodo de almacenar por el poco espacio que ocupa y su limpieza.

Por otro lado, los principales aspectos negativos de las briquetas, se debe a que se consumen antes que un leño de buena calidad, teniendo un rendimiento menor. Además, por el alto costo inicial de maquinarias y uso de energía en el proceso productivo, su precio es menos atractivo que del madero.

Pellets:

Los pellets de uso energético, al igual que las briquetas, corresponden a un combustible sólido de origen renovable obtenido por la densificación de biomasa, principalmente de origen forestal. Poseen un aspecto cilíndrico de pequeñas dimensiones y se elaboran a partir de madera residual seca como aserrines y virutas, los cuales son comprimidos a alta presión sin la presencia de aditivos, obteniendo un producto homogéneo con una humedad muy baja.

La materia prima a partir de la cual se fabrican los pellets es diversa. Se recomienda madera virgen sin aditivos, la cual puede provenir de trozas de árboles en superficies

forestales gestionadas, específicamente, para la producción de pellet, madera desechadas en la industria del aserrío por su diámetro menor, residuos de cortas silvícolas y podas, restos de podas de maderas utilizadas tradicionalmente como leña y residuos de las industrias del aserrío como virutas, recortes y aserrín.

La principal característica de los pellets es su alta densidad y homogeneidad, tanto en textura, humedad y forma, lo que conceden a este combustible un comportamiento similar a un fluido en manipulación y rendimiento más uniforme y eficiente que la leña, posicionándose como el combustible sólido más limpio de todos al alcanzar una combustión de 98,5% con casi nula producción de cenizas y emisiones (1 [Kg] de pellets produce menos de 5 [g] de cenizas).

Por otra parte, poseen un elevado contenido energético situándose, aproximadamente, entre los 4.200 y 4.500 [kcal/Kg], a pesar de que el poder calorífico de los pellets, al igual que en el caso de las briquetas, depende del material de procedencia y la humedad. Si la materia prima es sólo madera sin corteza, el poder calorífico del pellet será el de la madera que proviene, visualizándose que a medida que se agregan residuos, su calidad, y poder calorífico disminuye. De la misma forma, un bajo contenido de humedad influye en la buena compactación del pellet, mientras que un alto contenido lo hace poco compacto, facilitando el quiebre y la generación de emisiones nocivas por su baja eficiencia al quemarse.

El proceso de obtención de pellets se da en primer lugar, gracias a la obtención de pellets, junto a la trituración de la materia prima hasta obtener el tamaño adecuado para el calibre del pellet. Normalmente, se utiliza un molino de martillos para obtener un material refinado y uniforme con un tamaño no superior a los 4 [mm] de longitud. Si la materia prima es madera en rollizos, debe ser descortezada y astillada antes de su transformación a aserrín. Luego, se homogeniza la humedad del material mediante un proceso de secado hasta lograr el 12%. Este proceso puede ser llevado a cabo en un trómel o un secador de bandas, y dado que es la etapa que más energía consume, la mayoría de las industrias de pellets utilizan la cogeneración con calderas de biomasa para conseguir el calor de secado, utilizando como combustible los residuos como cortezas que no pueden ser manipulados en la fabricación de los pellets.

A continuación, tiene lugar la formación del pellet, lo cual se logra sometiendo la materia prima a altas presiones y temperaturas superiores a 80° C en una prensa de extrusión, que empuja el material sobre una matriz con agujeros cilíndricos para adquirir su forma. Al comprimirse, la madera libera su lignina que actúa como aglomerante natural, evitando el uso de aditivos. Sin embargo, para facilitar el pelletizado se puede agregar vapor o aglutinantes del tipo almidón en proporciones inferiores al 2% para mejorar la resistencia del producto. Esta etapa en conjunto con la materia prima empleada, define la densidad de los pellets. A mayor densidad de materia prima, mayor densidad del producto final, siendo por lo general la madera de las especies frondosas como encina, robles, haya y castaño, más densas que la madera de las coníferas como pino, abetos y cedros. El

producto obtenido posee diámetros entre 7 y 22 [mm], longitud entre 2,2 y 7 [cm], una humedad residual inferior al 10% y un 5% de polvo de madera.

Posterior a la densificación, el producto es enfriado siendo la etapa más importante al estabilizar la temperatura de los pellets, que alcanza al inicio los 90°C y endurece la lignina derretida, para así mejorar su resistencia. Una vez enfriados, los pellets se someten a un tamizado para retirar el posible aserrín sobrante, que es recirculado al proceso de pelletizado. Finalmente, el pellet puede ensacarse en maxibags, bolsas pequeñas entre 10 y 20 [Kg] o almacenarse en silos para su transporte a granel y comenzar su distribución. Cabe señalar, que el acopio sea en un lugar seco para evitar que la humedad dañe el producto y además se debe ser cuidadoso en su manipulación, debido a que los pellets son sensibles al desgaste físico por impacto.

Al igual que en el caso de las briquetas, existen diversas normativas nacionales que pretenden regular el mercado de los biocombustibles sólidos, a partir de la estandarización y certificación, siendo normativas actuales de apego voluntario para gran parte del mundo. Sin embargo, para determinar parámetros unívocos y asegurar una mayor protección del consumidor final, en el 2011 fue aprobada la nueva norma europea que define las características de calidad del pellet: la EN 14961-2, que dio paso al sistema de certificación ENPlus para pellets de madera de uso no industrial (unidades de combustión pequeñas y medianas), que certifica tanto la calidad como la sostenibilidad del pellet exclusivamente para usos térmicos. Esta normativa fue desarrollada por la Asociación Alemana del Pellet (DEPV) y la Asociación Austriaca de productores de Pellets (Pro Pellets Austria), bajo el amparo de la Asociación Europea de la Biomasa (AVEBIOM), logrando desde su introducción la certificación de empresas en más de 20 países como Austria, Bélgica, Canadá, Croacia, República Checa, Dinamarca, Francia, Alemania, Italia, Lituania, Polonia, Portugal, Rumanía, Eslovenia, Eslovaquia, España, Suiza, los Países Bajos, Reino Unido e incluso los EE.UU.

Este precepto, clasifica los pellets en tres categorías: La clase A1 representa pellets de madera virgen y residuos de madera sin tratar químicamente, con bajos contenidos en cenizas, nitrógeno y cloro. Los combustibles con un contenido ligeramente más alto en cenizas, nitrógeno y/o cloro estarán dentro de la clase A2, los cuales generalmente están elaborados con subproductos y residuos de la industria del procesado de la madera. En la clase B se permite utilizar también madera reciclada y residuos industriales, aunque en ambos orígenes no se aceptan maderas que hayan sido interrumpidas anteriormente y de hecho hay valores máximos muy estrictos para los metales pesados. Se recomienda utilizar los pellets del tipo A1 en el ámbito doméstico, mientras que A2 y B están indicados para uso industrial de generación de energía térmica.

En el **Anexo C2: Normativa ENPlus Pellets**, se presentan las especificaciones que deben cumplir los pellets según la normativa ENPlus.

La siguiente la Tabla 20, muestra las principales características de los pellets más utilizados a nivel nacional.

Tabla 20: Características pellets de madera

Característica	Unidad	Valor
Poder Calorífico Inferior	[kcal/Kg]	4.538
Poder Calorífico Superior	[kcal/Kg]	4.500 - 4.800
Humedad	[% en peso]	8 - 10%
Densidad Unitaria	[g/cm ³]	1,4
Densidad aparente	[Kg/m ³]	600 - 700
Cenizas e Impurezas	[% en peso]	<0,4% y <5% de finos
Emisiones MP₁₀	[Kg/ton]	2,1 - 4,4 Kg/ton
Emisiones CO₂	[Kg gas/Kg combustible]	1,65
Valor Comercial	[\$CL/Kg]	145 - 198

Las principales aplicaciones de los pellets combustibles son la generación de calor y electricidad, siendo el uso en calefacción residencial el más expandido debido a su facilidad de uso y eficiencia, y dada baja humedad de los pellets, casi toda la energía que emite la combustión se destina a la función final con casi nulas pérdidas. Lo anterior y las bajas emisiones contaminantes producidas por su combustión, convierten a los pellets en una alternativa factible de generación de energía en aquellas ciudades en las que existen restricciones en relación con las emisiones de gases, que han derivado en la prohibición del uso de estufas a leña o chimeneas.

Por otro lado, en el mercado industrial, el uso de los pellets está enfocado principalmente a la cogeneración, produciendo de manera simultánea energía térmica y eléctrica, especialmente en países como Bélgica, Holanda, Reino Unido y Dinamarca, al presentar grandes plantas de generación eléctrica de co-combustión.

Dentro de las ventajas de la utilización y producción de pellets de madera combustible, destaca su carácter ecológico, pues al igual que las briquetas está elaborado con materia prima residual, por lo cual su elaboración no ejerce presión sobre el medioambiente y sus recursos naturales. Esto permite la gestión sostenible de bosques, evitando su deterioro y favoreciendo la neutralidad de las emisiones de CO₂ que contribuye a la mitigación del cambio climático.

Además, la producción de este combustible reduce la dependencia energética, estimulando el crecimiento local dado que se valorizan residuos que la mayoría de los países poseen para su producción, asegurando el abastecimiento de combustible con un precio accesible y estable frente a desequilibrios externos, a diferencia de los combustibles fósiles de uso tradicional.

En relación a sus características, su homogeneidad, el bajo nivel de humedad y ausencia de sustancias químicas nocivas en su composición, permiten que los pellets posean un nivel muy bajo de emisiones y residuos generados al momento de la combustión, como material particulado y cenizas, además de nula emisión de compuestos azufrados y humo. Esto permite una disminución en la periodicidad de mantención en los equipos de combustión por la extracción de cenizas y que puedan ser quemados y almacenados en áreas densamente pobladas.

El pellet al ser de un tamaño inferior se puede manipular mejor, comportándose casi como un fluido, facilitando la alimentación automática de equipos de combustión permitiendo mejorar la dosificación y por ende la regulación de la temperatura deseada. Además, su alta densidad permite facilitar el transporte, almacenamiento y manipulación, disminuyendo los costos de transporte al ocupar menos volumen a igualdad de peso, aumentando su valor energético por unidad de volumen, a causa de su alto poder calorífico.

Por otro lado, las externalidades negativas asociadas a los pellets se relacionan con los altos costos de inversión inicial de los equipos para consumo, los cuales son más altos que para la calefacción con sistemas convencionales. Sin embargo, estos costos se ven amortizados en el corto y mediano plazo por la conveniencia del precio de los pellets respecto a los combustibles fósiles, pero representan una alternativa más cara que las astillas y leños al requerir un proceso industrial para su fabricación. La elaboración de pellets requiere sólo aserrín como materia prima, por lo que no constituye una solución directa para la utilización de todos los subproductos leñosos al requerir de un acondicionamiento de tamaño y humedad previo, mayor al utilizado en la elaboración de briquetas, las cuales son intensivas en consumo energético.

Otro punto importante es que como los pellets presentan una gran superficie específica²⁰, arden más de prisa que las briquetas y leños, además de que por su naturaleza higroscópica²¹, requieren de un almacenamiento que minimice su contacto con la humedad, generando la necesidad de contar con galpones especiales para este fin, y así asegurar que la película protectora del pellet, formada por el calentamiento superficial durante su prensado, impida la entrada fácil de agua.

²⁰ La superficie específica corresponde a la relación entre el área superficial total y la masa del sólido.

²¹ La propiedad higroscópica corresponde a la capacidad de absorber humedad del medio circundante.

2.3.2. Tecnologías disponibles en el mercado local de calefacción








Dados los planes de descontaminación presentes en Chile, se describirán los calefactores que presenten mayor interés para el Gobierno. Lo anterior se refleja en las recomendaciones presentadas por el Ministerio del Medio Ambiente a través de su página web “www.calefaccionsustentable.cl” [11], en donde se presenta una breve descripción de los calefactores existentes en el mercado chileno, basados en el combustible a utilizar.

Ilustración 11: Calefactores presentes en el mercado chileno

¿Qué calor elegir?

Existe una gran cantidad de calefactores en el mercado, pero al momento de elegir hay que considerar costos, emisión de contaminantes y los efectos que tienen en la salud.

Tipos de calefactores

<p>Parafina</p>  <p>Son baratos y su consumo de combustibles es fácil de controlar, pero es necesario rellenarlas cada cierto tiempo y existen riesgos de quemaduras en algunos modelos. Requieren mantención y cambio de mecha para limitar la contaminación intradomiciliaria por material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno. Se puede utilizar en lugares con buena ventilación, no es aconsejable para dormitorios.</p>	<p>Leña</p>  <p>Tienen gran capacidad calórica y usan un combustible barato pero contaminante. Requieren una inversión importante de compra e instalación. Tienen una combustión menos eficiente, que depende de su correcto uso y manipulación, ya que no son automáticas, y por ello generan mayores emisiones atmosféricas. Están prohibidas en días de mala calidad del aire.</p>
<p>Gas licuado</p>  <p>Son baratos y su consumo de combustibles es fácil de controlar. Son móviles y en algunos hay riesgos de quemaduras por llama expuesta. Poseen un gran poder calorífico pero producen contaminación intradomiciliaria por monóxido de carbono. Se puede utilizar en lugares con buena ventilación, como living y comedor, pero no es adecuada para dormitorios. Según el modelo pueden producir gases nocivos.</p>	<p>Pellet de madera</p>  <p>Al igual que la leña, el pellet es un combustible barato de gran capacidad calórica, pero a diferencia de la leña produce muchas menos emisiones contaminantes. Estos pequeños cilindros están compuestos de aserrín comprimido con muy baja humedad. Son cómodos y fáciles de usar, pero su costo de compra e instalación es superior al de otro tipo de calefactores.</p>
<p>Electricidad</p>  <p>Hay diferentes tecnologías (halógena, cuarzo, oleoeléctricas, etc.) y algunos son más seguros que otros para los niños. Además, son móviles y no producen contaminación intradomiciliaria. Su poder calorífico es menor con un costo de operación mayor (gasto en electricidad). El uso es recomendado para habitaciones pequeñas.</p>	<p>Gas natural</p>  <p>Este tipo de calefactor utiliza un combustible más barato que la parafina o el gas licuado, pero para poder utilizarlo se requiere estar conectado a la red de gas natural. Pueden requerir instalar nuevas cañerías y el costo del equipo es alto. Su combustión produce pocas emisiones contaminantes, pero consume el oxígeno de la habitación, por lo que no son aptos para dormitorios y requieren una mantención periódica.</p>
<p>Split calefactor</p>  <p>(Aire acondicionado reversible)</p> <p>Son menos conocidos pero muy eficientes, ya que consumen menos electricidad que otras tecnologías eléctricas. Requieren una inversión alta y de una instalación especial, pero no producen contaminación intradomiciliaria y tampoco emiten contaminantes al exterior. Al ser reversibles pueden enfriar la casa en verano. Las instalaciones de potencia alta requieren de una instalación eléctrica especial.</p>	

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2015

Emisiones de las estufas a pellets

Los sistemas de combustión a pellet tienen muy bajas emisiones, debido al diseño de equipos y a las características del combustible. En el caso de Chile, la gran mayoría de las estufas comercializadas son importadas y tienen certificaciones de organismos internacionales. Para estos equipos, el factor de emisión es de aproximadamente 1,19 [g MP_{2,5}/Kg combustible] [20].

En el caso de los equipos nacionales, se ha identificado que la empresa BOSCA, es la única productora local y según indican sus certificados, las emisiones de MP van desde 0,54 [gr/hr] a 0,93 [gr/hr], dependiendo de la tasa de quemado utilizada [21].

Factibilidad técnica de las tecnologías

En el cuadro siguiente se realiza el análisis resumido de la factibilidad de las tecnologías evaluadas en el estudio. Como se aprecia en el cuadro, las tecnologías asociadas a generación eléctrica aún poseen baja factibilidad técnica para calefacción.

53

Tabla 21: Factibilidad técnica de las tecnologías

Tecnología	Uso en Calefacción	Tipo de viviendas	Factibilidad
Paneles solares térmicos	Calor directo	Individual / Colectivo	Alta
Muros solares	Calor directo	Individual	Media
Colectores solares termodinámicos	Calor directo	Individual	Media
Estufas a pellets	Calor directo	Individual	Alta
Calefacción distrital	Calor directo a partir de biomasa	Colectivo	Alta
Calefacción distrital geotérmica	Calor directo a partir de geotermia	Colectivo	Baja
Bombas de calor geotérmicas	Calor directo a partir de geotermia de baja entalpía	Individual / Colectivo	Media
Micro cogeneración-biocombustibles	Calor directo a partir de biocombustibles	Individual / Colectivo	Baja
Micro turbina eólica	Electricidad para equipos eléctricos	Individual / Colectivo	Baja

Fuente: Fundación para la Transferencia Tecnológica, 2014

En cuanto a los factores de emisión de los artefactos presentes en el mercado chileno, los siguientes cuadros detallan la emisión tanto de MP₁₀ como MP_{2,5}.

Tabla 22: Factores de emisión MP₁₀ artefactos a leña

Artefactos	Factores de Emisión MP ₁₀ [g MP _{2,5} /Kg combustible]		
	Humedad 0-20(%)	Humedad >20(%)	Mala Operación
Cocina a Leña	19,2	30,9	-
Estufa (cámara simple, doble o insert)	15,3	24,2	76
Salamandras	15,9	27,9	-
Chimeneas	16,6	27,9	-
Braseros	17,9	27,9	-

Fuente: Fundación para la Transferencia Tecnológica, 2014

Tabla 23: Factores de emisión MP_{2,5} artefactos a leña

Artefactos	Factores de Emisión MP _{2,5} [g MP _{2,5} /Kg combustible]		
	Humedad 0-20(%)	Humedad >20(%)	Mala Operación
Cocina a Leña	17,9	28,8	-
Estufa Actual con Cámara Simple	14,2	22,5	70,76
Estufa Actual con Cámara Doble	14,2	22,5	70,76
Salamandras	14,8	26	-
Chimeneas	15,5	26	-
Braseros	13,3	21	-
Estufa Comercio General	2,1	3,3	70,8

Fuente: Fundación para la Transferencia Tecnológica, 2014

Capítulo II: Desarrollo del plan de negocios

3. Factibilidad técnica

La siguiente sección tiene por finalidad responder al tercer objetivo específico del presente informe, el cual es realizar una evaluación técnica y económica del plan de negocios, la evaluación económica será desarrollada en el siguiente capítulo.

Usualmente, al momento de realizar una cotización de una planta de producción de pellets, los productores de estas piden información específica de modo de asegurar que la persona o empresa interesada tenga identificada una fuente de materia prima para la planta, y con ello, las características específicas del aserrín a utilizar como también la dimensión de la planta buscada. La rigurosidad en el proceso de cotización se debe principalmente a la variabilidad en las características de la línea de producción, las cuales son diseñadas acorde a requerimientos específicos para cada cliente.

Considerando lo anterior, con el objetivo de analizar de forma más concreta la factibilidad técnica de las líneas presentes en el mercado chileno, se procedió a cotizar una línea de producción considerando como proveedor, al aserradero con mayor cantidad de aserrín disponible para comercializar.

3.1. Caso Origen: Proveedor ubicado en Loncoche

Dado que el principal requerimiento para realizar una cotización de una planta son las características de la materia prima y en base a la información entregada en la sección “Mercado del aserrín” en Antecedentes económicos, se desarrollará el análisis en profundidad de la planta de producción considerando como proveedor al aserradero ubicado en Loncoche.

Dicho análisis, definirá de manera concreta los requerimientos técnicos necesarios para la implementación de una planta de producción, los cuales serán utilizados, en un análisis posterior, en la evaluación económica tanto de la misma planta cotizada como de otras opciones cotizadas.

La información entregada por el proveedor indica las siguientes características de la materia prima²²:

Tabla 24: Características de la materia prima a utilizar

Densidad aproximada	Humedad	Volumen a procesar	Granulometría o tamaño de entrada [Rango]	Procedencia
270 [Kg / m ³ e]	50% - 60%	3100 [m ³ e / mes]	1 a 3 mm 85%, >3 mm 5%, (5 mm diámetro y 20 a 25 mm largo), < 1 mm 10%	Aserrín producto de aserreo de pino radiata con huincha sierra.

En base a la información mostrada anteriormente en los consumos de procesos, 3.100 [m³ e / mes] de aserrín húmedo corresponde a 454.891 [Kg/mes] de pellets.

Con dicha información, se realizó una cotización de una planta, con capacidad de producción de 1,5 toneladas/hora, a la empresa Ortizco, representante oficial de la marca de maquinarias KAHL. Dicha cotización, adjuntada en **Anexo C1: Formulario de cotización enviado a Ortizco**, fue enviada por Cristóbal Bustamante, Jefe de Línea Biomasa y Alimentos.

Dentro de las conversaciones y reuniones mantenidas con la empresa Ortizco, su jefe de Línea Biomasa y Alimentos brindó nueva información que debe ser considerar:

- Se conocen casos actuales de líneas de producción chinas, las cuales, al momento de comenzar la producción, no funcionaron.
- Según la unidad económica rentable de Ortizco, una planta de 1 a 1,5 toneladas de pellets por hora²³, no da para un esquema rentable debido al alto costo del secador incluido en la línea²⁴.

²² En base a las distintas cotizaciones realizadas, la información presentada corresponde a la mínima indagación que se debe realizar con respecto a la materia prima, para poder concretar una cotización de una línea de producción de pellets de madera.

²³ La escala mínima rentable según Ortizco, es de 7 [ton/h] de input y 3,5 [ton/h] de Output para el secado

²⁴ De las líneas de producción Kahl en Chile, ninguna utiliza su sistema de secado.

En base a la cotización realizada²⁵, los antecedentes del proceso de fabricación presentados anteriormente y opinión de expertos²⁶. Se procedió a definir los requerimientos técnicos necesarios para implementar una línea de producción.

3.1.1. Descripción del proceso productivo

La descripción generalizada para procesos productivos es descrita en detalle en el **Anexo C4: Descripción del proceso productivo**

Dicha información será presentada de tal forma que los parámetros queden definidos en todo el proceso de producción:

1. Llegada de materia prima

El aserrín es transportado a través de un camión desde el proveedor hacia la planta de producción.

Supuestos: Los caminos de acceso a la planta cumplen con los requerimientos para hacer del transporte de aserrín hacia la planta y de los pellets hacia terceros sea totalmente factible.

Parámetros a definir:

- Tipo de terreno: Terreno industrial semi urbanizado
- Tamaño del terreno: 7500 [m²] (100 metros de largo por 75 metros de ancho).

El tipo de camión a considerar para el transporte de aserrín hacia la planta es del tipo "Piso Móvil" lo cual facilitaría la descarga de la materia prima sin necesidad de una inversión adicional para el proceso.

2. Descarga del aserrín.

La materia prima es descargada del camión hacia galpón de almacenamiento. Luego de descargar la materia prima, es necesario movilizar la materia prima dentro del mismo

²⁵ La cotización realizada es adjuntada en **Anexo C2: Cotización línea producción KAHL**

²⁶ La información de la experiencia y trayectoria laboral de los expertos consultados se adjunta en **Anexo C3: Expertos consultados**

galpón a través de un cargador frontal que asegure la correcta utilización del espacio de almacenamiento.

Parámetros a definir:

- Galpón de acumulación de aserrín: 150 [m²] (Largo: 15 [m]; Ancho: 10 [m]; alto: 5 [m])
- Pavimentos descubiertos: 50 m² (Largo: 10 [m]; Ancho 5m [m])
- Cargador frontal: Se suma una unidad a la inversión requerida.

3. Movilización de la materia prima hacia silo de almacenamiento previo al secado.

Para asegurar la alimentación continua del proceso, el aserrín es almacenado en un silo previo al proceso de secado. La movilización de la materia prima es a través del mismo cargador frontal utilizado anteriormente en el proceso de descarga del aserrín. Para mantener el flujo continuo es necesario un alimentador continuo desde el silo hacia el proceso de secado.

Parámetros a definir:

- Silo alimentación con transportador a secador: Se suma una unidad a la inversión requerida.

4. Proceso de secado.

El aserrín es llevado desde una humedad aproximada del 50% a una humedad aproximada de 12%, cantidad requerida para iniciar el proceso posterior de pelletizado.

Dada la información entregada por la empresa Ortizco, el tamaño de planta no es económicamente factible para la utilización de un equipo de secado marca Kahl, por lo que se realizó una cotización para un proceso de secado utilizando una caldera externa.

La cotización de una caldera que cumpliera con los requerimientos de la línea, fue realizada a la empresa Thermal Engineering. Según información entregada por Cristóbal Bustamente (Kahl), una línea de producción con capacidad de 1,5 [ton/h] de pellets, requiere de una caldera con capacidad de 2350 [Kg-vapor/hora].

La cotización incluye dos tipos de caldera, la primera utiliza biomasa para la generación de calor, mientras que la segunda utiliza Petróleo 6 como combustible. La principal diferencia entre ambas, según el agente cotizado, es el precio de inversión y de

utilización, siendo la caldera de biomasa aproximadamente 4 veces más cara en términos de inversión y 4 veces más económica en cuanto a generación de vapor. El detalle de las cotizaciones se encuentra en **Anexo C5: Cotizaciones de calderas**

Parámetros a definir:

- Caldera de secado de aserrín: Se suma una unidad a la inversión requerida.

5. Movilización del aserrín seco (12%) desde el proceso de secado hacia acumulador.

El aserrín seco es movilizado a través de una cinta de salida hacia un buffer acumulador, el cual mantiene la alimentación continua de materia prima del proceso.

Luego de ser almacenado en el buffer de almacenamiento, el aserrín seco es transportado a través de una cinta hacia la prensa pelletizadora.

6. Proceso de pelletizado.

En este proceso, la pelletizadora efectúa un trabajo de compresión de forma continua sobre la materia prima, disminuyendo su volumen de 3 a 5 veces.

Parámetros a definir:

- Planta pelletizado: Se suma una unidad a la inversión requerida.

Luego del proceso de pelletizado, el pellet caliente es transportado a través de una cinta hacia el proceso de enfriado.

7. Transporte de pellets terminados.

Dependiendo del formato de venta, el producto terminado es transportado a través de una cinta a un silo de acumulación en el caso de venta a granel. En el caso de los formatos de venta a través de empaques, el pellet terminado es transportado al proceso de empaque.

Parámetro a definir:

- Tolva-silo recepción pellets pre envasado en caso de venta a granel: Se suma una unidad a la inversión requerida

- Línea de envasado: Se suma una unidad a la inversión requerida en el caso de utilizar formato de venta en envases.

8. Almacenamiento de producto final.

Dependiendo del formato elegido anteriormente, el producto final es almacenado en cualquiera de sus formatos en un galpón de almacenamiento o un silo a granel. En el caso de utilizar el formato de sacos pequeños, los sacos son almacenados en pallets y movilizados a un galpón a través de un monta carga.

Sumando instalaciones que no tengan relación directa al proceso de pelletizado, los elementos necesarios para la construcción de una planta son los siguientes ítems:

Tabla 25: Infraestructura necesaria para caso origen

Infraestructura	Proveedor	Unidades	Cantidad
Terreno industrial semi urbanizado	Local	[m ²]	7500
Galpón y construcciones anexas	Local	[m ²]	1200
Empalme eléctrico y agua	Local	global	1
Pavimentaciones y estabilizado	Local	[m ²]	2900
Cierre perimetral	Local	[m]	350

En cuanto a la maquinaria necesaria para completar la línea de producción, sus componentes se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla 26: Línea de producción

Equipos importados	Procedencia	Unidades	Cantidad
Secador de cinta	Kahl	2,7 [ton/h]	1
Planta pelletizado	Kahl		1
Equipos según detalle	Kahl	global	1
Equipos eléctricos de mando y regulación	Kahl	global	1
Equipos seguridad anti-explosión	Kahl	global	1
Equipos nacionales			
Área y equipos recepción-alimentación secador	Local	global	1
Equipos para secador según detalle	Local	global	1
Caldera de 2350 Kg/h vapor saturado	Local		1
Equipos para pelletizadora	Local	global	1
Tolva-silo recepción pellets pre envasado	Local	[m ³]	500
Línea envasado		global	1

3.1.2. Consumo en los procesos

Consumo de aserrín:

A continuación, se mostrará la equivalencia del aserrín con distintos tipos de humedad, como también la equivalencia a pellet de madera con 8% de humedad. Los cálculos consideran un volumen de aserrín igual a 1.000 m^3 – estéreo, con una densidad igual a $270 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$ para el aserrín húmedo y $150 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$ para aserrín semi-seco 2. El factor corresponde a la conversión de aserrín al 50% de humedad hacia distintos materiales²⁷.

Tabla 27: Consumo de aserrín para fabricación de pellets

Material	Humedad	Factor	Producto Húmedo	Producto seco	Unidad
Volumen			1.000	1.000	$\text{m}^3 - e$
Densidad			270	150	Kg/m^3
Peso aserrín		100%	270.000	188.700	Kg
Materia seca	0%	50%	135.000	154.734	Kg
Producto pellet	8%	54%	146.739	168.189	Kg
Materia aserrín semi-seco 1	12%	57%	153.409	175.834	Kg
Materia aserrín semi-seco 2	18%	61%	164.634	188.700	Kg
Materia aserrín húmedo	50%	100%	270.000	309.468	Kg

La cantidad de aserrín necesaria para producir 1 tonelada de pellet al 8% de humedad se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 28: Consumo aserrín para fabricar 1 tonelada de pellet

	Humedad	Factor	Producto Húmedo	Producto seco	Unidad
Volumen			6,8	7,5	$\text{m}^3 - e$
Densidad			270	150	Kg/m^3
Peso aserrín		100%	1.840	1.122	Kg
Materia seca	0%	50%	920	920	Kg
Producto pellet	8%	54%	1.000	1.000	Kg
Materia aserrín semi-seco 1	12%	57%	1.045	1.045	Kg
Materia aserrín semi-seco 2	18%	61%	1.122	1.122	Kg
Materia aserrín húmedo	50%	100%	1.840	1.840	Kg

Por lo que, para producir 1 tonelada de pellet es necesario $6,8 \text{ [m}^3 - e\text{]}$ de aserrín húmedo (50%). Si la materia prima a utilizar es aserrín al 18% de humedad, la cantidad requerida para producir una tonelada de pellet es igual a $7,5 \text{ [m}^3 - e\text{]}$.

²⁷ La densidad mostrada sólo corresponde al aserrín con 50% y 18% de humedad respectivamente.

A continuación, se describirán todos los consumos asociados al proceso productivo del caso base:

Tabla 29: Consumo en los procesos del caso base

Parámetro	Unidad	Valor
Consumo aserrín mensual (media)	[ton/mes]	478
Producción mensual (media)	[ton/mes]	455
Densidad aserrín húmedo 50%	[Kg/m ³]	270
Densidad pellets secos 6% - 8%	[Kg/m ³]	650
Horas de producción	[h/día]	16
Capacidad de línea (nominal máx.)	[Kg/h]	1500
Capacidad de línea (media operación)	[Kg/h]	1293
Potencia instalada	[kW]	250
Precio Energía eléctrica	[CH\$/kWh]	75
Vaporización agua	[Kg/h]	2350
Consumo energía térmica secador	[kWh]	1350

Consumo caldera: De acuerdo a los datos provistos por el proveedor de la caldera, se cotizó dos opciones, la primera corresponde a un equipo que utilice combustible fósil para la producción de calor (Petróleo 6), y la segunda corresponde al uso de biomasa para la generación de energía térmica. El detalle de la información entregada se visualiza a continuación:

Tabla 30: Consumo de calderas caso base

	[Kg/h] necesarios para producir 2350 Kg/h de vapor	Precio [\$/Kg]
Caldera a biomasa	775*	290
Caldera a FO6	148	24

*45% de humedad; Pci: 2100 [kcal/Kg]

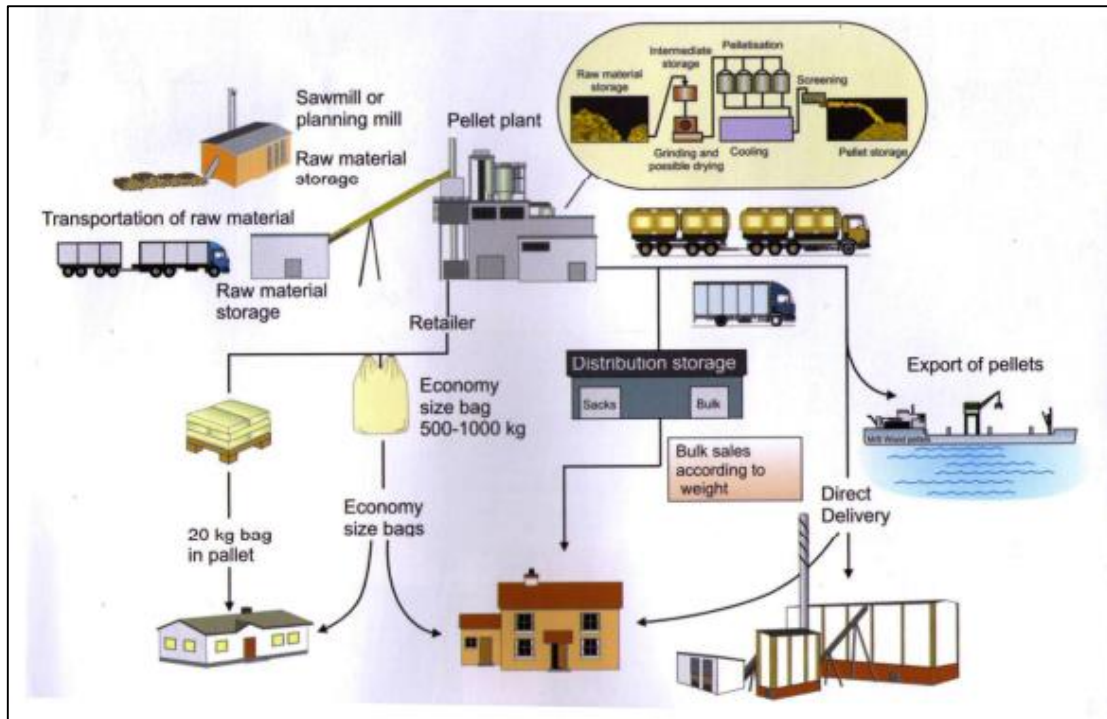
La cotización realizada se encuentra disponible en **Anexo C5: Cotizaciones de calderas**.

4. Logística de transporte y ubicación

Para entender de mejor manera cómo funciona el mercado del pellet a continuación se presentará la cadena productiva del biocombustible, desde su producción hasta su comercialización²⁸:

²⁸ La siguiente información está basada en el estudio “Logistic management of Wood pellets: Data collection on transportation, storage and delivery management” realizado por EUBIA – European Biomass Industry Association [8].

Ilustración 12: Producción y comercialización del pellet



Fuente: EUBIA, 2009

Los pellets pueden ser producidos y usados localmente, como también pueden ser transportado a través de barcos a otros mercados extranjeros. La logística de transporte es un factor sumamente importante en la economía de la industria del pellet, ya que no es factible transportar materia prima grandes distancias debido a su poca densidad.

El pellet de madera es vendido tanto a granel como en grandes o pequeños empaques. El tamaño de las bolsas pequeñas varía entre los 15 y 25 [Kg], los cuales son empaquetados a su vez, en pallets. Los pallets son entregados a los distribuidores, quienes entregan el biocombustible al usuario final. Las bolsas pequeñas están diseñadas para consumidores de menor escala. En cuanto al tamaño de los empaques grandes, varían entre 1-1,5 m³ medida equivalente a 500 – 1000 [Kg]. El transporte de pellets en grandes empaques es más económico, pero se debe considerar que el consumidor final debe tener maquinaria necesaria (como un cargador frontal) para poder descargar.

El último formato de venta del pellet de madera es a granel, lo cual es transportado a través de tractores y camiones que utilicen una lona para proteger al combustible de factores externos como humedad u otros contaminantes. La venta a granel es distribuida

por camiones que utilizan aire comprimido para soplar al pellet directamente al sitio de almacenamiento del usuario final. De esta manera, el biocombustible es distribuido de forma similar que el petróleo. Los camiones pueden ser diseñados especialmente para el transporte del pellet, como también se puede utilizar transportes para la distribución de alimento (follaje) para animales. En dicho caso, el transporte para pellets puede ser facilitado en las regiones en donde la industria de la carne y lácteos son más extensos.

4.1. Transporte de proveedores de aserrín a productores de pellets

De acuerdo a la información recolectada por el estudio citado en esta sección [8], la distancia desde los aserraderos hacia las plantas de pelletizado en Suecia cubren una distancia promedio de 65 [km]. Dicha distancia considera una participación del 80% de aserrín húmedo con un contenido de agua en su composición cercano al 55%.

En el caso de Canadá, la distancia promedio recorrida por el aserrín cubre entre 50 a 75 [km] desde los aserraderos hasta las plantas de producción. Lo cual es realizada principalmente por camiones con capacidad aproximada de 140 [m³] correspondiente a 33 toneladas.

4.2. Transporte de productores de pellets a distribuidores

La forma de transportar pellets de productor a comercializadores depende principalmente de la distancia cubierta. Existen dos tipos de análisis dependiendo de dos distancias promedios:

1. Transporte para pequeñas y medianas distancias.

La primera forma de transporte para pequeñas y medianas distancias corresponde al transporte a través de camión, lo cual se describirá a continuación.

- Transporte a través de camión:

Dado que el uso de pellets de madera tiene como ventaja comparativa su compatibilidad con el medioambiente, específicamente relacionando el ahorro de emisiones CO₂, el uso de camiones para transporte puede no ser la mejor manera para hacer del balance de emisiones muy eficiente.

Económicamente, la distancia máxima a través de camiones para el transporte de combustibles forestales está en el rango de 60 y 100 [km], dependiendo del material transportado y la logística implementada. La cantidad de energía que puede ser

transportada por camión es pequeña debido a la baja densidad de los biocombustibles madereros. En el caso del pellet, distancias por sobre los 200 y 300 kilómetros no son muy rentables [8].

Ilustración 13: Entrega de pellets desde silo hacia camión (a granel)



Fuente: EUBIA, 2009

- Transporte a través de tren:

El transporte de bienes a través de trenes ha marcado una tendencia al crecimiento los últimos años en el mercado europeo, pese lo anterior, la tendencia al uso de transporte a través de camiones ha mostrado un crecimiento mayor. Lo anterior se debe a que la cantidad de kilómetros cubiertos por caminos es mucho mayor a la cubierta por líneas ferroviarias.

Se debe destacar que el transporte a través de tren es más eficiente en cuanto a costos en comparación a camiones, como también tiene un impacto menor en la contaminación.

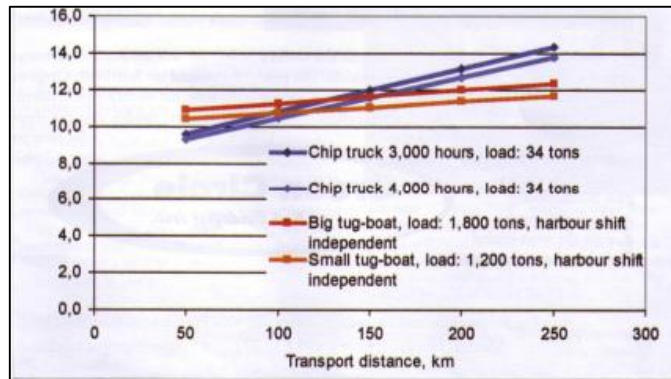
El uso de trenes para transporte debe ser considerado como una prioridad para productores de mayor escala de pellets de madera cuando quieran abarcar distancias mayores a los 100 [km]²⁹.

- Transporte a través de agua:

²⁹ Un ejemplo de lo anterior es el caso de una planta de producción de gran escala ubicada en Cottdonale (Florida, USA), quien utiliza trenes como medio de transporte desde la planta hacia un puerto ubicado a 100 [Km] en donde el producto es descargado por vagones de descarga inferior y almacenado en grandes pasillos de gran capacidad (35.000 toneladas).

La principal forma de transportar biomasa a través de agua en medianas y pequeñas distancias es a través de barcazas, las cuales tienen una mayor eficiencia económica que el transporte a través de camiones cuando la distancia cubrir supera los 100 [km]. Lo anterior queda reflejado en el siguiente gráfico:

Gráfico 8: Costo total de cadenas logísticas alternativas para chips de madera en función de la distancia recorrida



Fuente: EUBIA, 2009

En el caso de los pellets de madera, el uso de transporte a través de agua es más llamativo debido a que su densidad energética es superior a la de los chips de madera. El transporte a través de agua se debe considerar como opción para hacer del transporte más económico y ambientalmente más eficiente. Para asegurar la sustentabilidad de este tipo de transporte, todas las variables logísticas se deben reconsiderar y adaptar para las necesidades de los pellets, por ejemplo, los puertos y barcazas deben ser adaptados para facilitar el manejo del producto y evitar que este entre en contacto con el agua, lo cual afectaría su calidad durante el transporte.

2. Transporte para grandes distancias.

Actualmente, la mayor parte de los pellets transportado a gran distancia provienen de América del Norte, siendo la generación eléctrica en Europa su principal destino.

El transporte intercontinental a través de medios marítimos puede ser realizado por 3 tipos de barcos con distintas capacidades:

- Panamax: 70.000 toneladas métricas
- Handysize: 35.000 toneladas métricas
- Barcos Pequeños: 3.000 toneladas métricas.

Los buques de carga también pueden ser diferenciados en 3 categorías en función del tipo de producto transportado:

- Cargas generales (artículos sueltos como cajas)
- Containers estandarizados y carga con ruedas (ej. Autos)
- Carga a través de granel.

En cuanto a los principales puertos destinos para pellets, se encuentran los siguientes:

Vancouver hacia Amberes-Róterdam-Suecia: 740.000 toneladas fueron exportadas por grandes embarcaciones oceánicas a Europa.

Vancouver a Japón-China-Corea: La exportación de pellets comenzó el año 2008, y desde entonces, 40.000 toneladas de pellets han sido comercializadas hasta el momento, siendo el primer contrato una planta japonesa de co-generación.

San Petersburgo y Arcángel (Rusia) a puertos suecos: 47,000 toneladas han sido exportadas

Puertos Finlandeses a Amberes-Róterdam-Suecia: Las exportaciones alcanzados su peak en el 2006 con 195.000 toneladas, de las cuales 78.000 fueron a Suecia.

Letonia-Estonia-Lituania a Unión Europea: En el año 2006, esos tres países exportaron aproximadamente 620.000 toneladas de pellets, de las cuales 150.000 fueron destinadas a Suecia.

5. Análisis económico

A continuación, se presentará el análisis estratégico, económico y financiero de la información presentada anteriormente, lo cual concluirá con la evaluación económica del plan de negocios.

5.1. Análisis de las cinco fuerzas competitivas (Porter)

Según Michael Porter (1985), el atractivo de la industria está determinada por cinco fuerzas, las cuales son las siguientes:

1. Intensidad de la rivalidad entre competidores
2. Amenaza de nuevos participantes
3. Amenaza de sustitución
4. Poder de negociación de los proveedores
5. Poder de negociación de los compradores.

Estas cinco fuerzas son los factores básicos que explican la rentabilidad de largo plazo de una industria.

A continuación, se describirá detalladamente el análisis del medio externo basado en Porter, en donde se catalogará la intensidad de cada componente de la fuerza en los siguientes rangos: bajo (1), medio-bajo (2), medio (3), medio-alto (4) y alto (5). Los números corresponden al valor numérico de dichos rangos.

1. Rivalidad Entre Competidores

- *Número de competidores.*

Debido a la poca maduración del mercado actual de pellets de madera en Chile, el número de competidores en la producción de éstos es bajo, siendo la ECOMAS el mayor productor nacional. Por lo que la estructura de la industria se asemeja más a un oligopolio, en donde existen mayores incentivos para alcanzar acuerdos de colaboración y cumplimientos de éstos y donde las pérdidas de largo plazo del comportamiento oportunista superan notoriamente las ganancias de corto plazo.

Intensidad del componente: medio – bajo (2)

- *Similitud de tamaño entre competidores.*

Debido a que ECOMAS (empresa productora de pellets) tiene la mayor concentración del mercado y su tamaño es considerablemente mayor que sus rivales, la probabilidad de colaboración explícita o implícita es mayor en las firmas grandes en este tipo de estructura de mercado, ya que las empresas pequeñas son tomadoras de los precios determinados por las grandes sin poder afectarlos. Es por eso que la rivalidad de los competidores disminuye al aumentar la concentración de los productores de la industria.

Intensidad del componente: medio – bajo (2)

- *Tendencia de la industria.*

Otro factor importante a considerar es la tendencia de crecimiento de la industria, como se mencionó anteriormente, el mercado de pellets de madera presenta una tendencia al crecimiento tanto mundial como nacional, por lo que existirán oportunidades para todos los competidores. Se suma a lo anterior, los planes de recambio de calefactores del Gobierno que potencian el uso del pellet.

Intensidad del componente: bajo (1)

- *Fracción de costo fijo respecto al precio.*

Los costos fijos altos tienen el efecto de hacer que la función de costos medios tenga un importante rango de niveles de producción en donde es decreciente. Esto crea una presión a las firmas para estimular la demanda y alcanzar altos niveles de utilización de la capacidad instalada y así poder competir con eficiencia productiva. Sin embargo, si todas las firmas reaccionan de igual manera esto traerá como efecto neto que las firmas incrementen poco o nada su demanda (sus acciones por estimularla se contrarrestan con las de la competencia), pero perjudicarán seriamente el desempeño de la industria.

Considerando el costo fijo de CLP\$11.344 por tonelada de pellet producido y un precio de venta de CLP\$175.000 por tonelada, la fracción de costo fijo respecto al precio no es alta (el costo fijo corresponde al 6,5% del precio de venta), por lo que la rivalidad entre competidores para éste punto no agrega valor al poder final de negociación de éstos [23]

Intensidad del componente: bajo (1)

- *Diferenciación del producto.*

Pese a que el pellet de madera es un producto estandarizado en su producción, las características entre una marca y otra no son completamente similares, existe una diferencia entre pellets de alta y baja calidad, lo cual se ve reflejado en la combustión final

de éste y los residuos que emite. A pesar que el precio del producto tiende a ser único, existe una fuerte probabilidad que la demanda final se concentre en los pellets de alta calidad. Lo anterior afecta tanto positivamente como negativamente la rivalidad entre competidores, si el mercado se estabiliza con pellets de alta calidad, la rivalidad entre competidores aumentará. En cambio, si el mercado se estabiliza con la presencia de pellets tanto de alta como baja calidad, la rivalidad será menor.

Intensidad del componente: medio (3)

- *Capacidad de reacción de los rivales.*

Debido a que el precio del pellet es totalmente observable en el mercado, los productores tendrán una rápida reacción a las acciones de los demás competidores, por lo que no existirían grandes oportunidades de mercado (captar participación de mercado) basándose en la reacción de la competencia, ya que los precios de ventas se pueden ajustar rápidamente.

Intensidad del componente: bajo (1)

- *Barreras de salida.*

Dado el proceso productivo de la fabricación del pellet, los activos presentes son de alto grado de especialización. Dicho grado de especialización implica que una empresa productora que quiera hacer abandono de la industria tendrá dificultades en vender los activos. Al existir barreras de salidas altas (como la recién mencionada), existirán incentivos a no tener que llegar a considerar esa decisión, incluso en el caso que la rentabilidad sea baja o negativa. Esto produce un aumento en la rivalidad de los competidores, ya que en este caso existirá además el incentivo para proteger la situación competitiva para no caer en esa situación.

Intensidad del componente: alto (5)

2. Amenaza de nuevos competidores

- *Barreras de entrada.*

Diferenciación del producto: Como ya fue mencionado anteriormente, a pesar de ser un producto estandarizado, existen diferentes tipos de pellets que varían en su calidad final. Lo anterior disminuye considerablemente la libre entrada a la industria, ya que para fabricar un pellet de buena calidad conlleva a una inversión inicial mayor en la línea de producción.

Economías de escala: Otro factor que aumenta las barreras de entradas son las economías de escala presentes en la industria, ya que una mayor producción aumenta la rentabilidad presente en la empresa.

Saturación de canales: Los canales presentes actualmente en el mercado han presentado problemas para obtener el producto, ya que los clientes han demostrado un descontento al no poder encontrar disponibilidad del producto, como también se han importado pellets para poder satisfacer dicha demanda.

Experiencia y efectos del aprendizaje: La experiencia juega un papel fundamental para lograr la estabilidad operacional de una nueva planta. El periodo de tiempo puede llegar a 6 meses para un operador con experiencia, y hasta 8 meses para un nuevo entrante al negocio. Durante el periodo de aprendizaje, la calidad del pellet puede ser baja, lo cual afectaría negativamente las oportunidades de negocios futuras. Adicionalmente, los costos de mantención pueden llegar a ser muy altos durante este periodo debido al estrés sufrido por los equipos al no ser operados con experiencia. Los resultados pueden llegar a ser altos costos de puesta en marcha y bajos ingresos.

Ventaja de costo en los factores: La principal barrera de entrada al mercado de producción de pellets de madera es el acceso preferencial a la materia prima, ya que los principales productores iniciaron su negocio para aprovechar los residuos provenientes de sus procesos (principalmente aserraderos), por lo que existe un acceso preferencial a la materia prima, principalmente al aserrín seco. La localización de la planta también juega un rol fundamental en el proceso productivo, ya que, debido a la baja densidad de la materia prima, los costos de transporte aumentan significativamente la rentabilidad de la empresa.

Dado que altas barreras de entradas dan como resultado una disminución en la amenaza de nuevos competidores, la intensidad de este componente será bajo.

Intensidad del componente: bajo (1)

- *Acciones del Estado.*

Actualmente no existen permisos especiales por parte del estado para producir pellets de madera, como tampoco una regulación en la producción y características técnicas de éste. Por otro lado, si existen políticas medioambientales que regulan las emisiones producidas por artefactos que utilicen biocombustibles, en el caso de las emisiones producidas por la combustión de pellets de madera, estas dependerán netamente de los equipos de combustión, los cuales están dentro del rango aprobado por el Estado.

Adicionalmente, dentro de los esfuerzos del estado, a través de sus planes de descontaminación para reducir la contaminación ambiental en las zonas saturadas del país, existen subsidios que potencian el uso de pellet de madera como combustible amigable con el medioambiente.

Actualmente las acciones del estado suman una fuerza con intensidad baja, pero se debe considerar que, bajo su interés en descontaminación, tanto el proceso de fabricación como el pellet de madera sean objeto de estudio y consideración para futuras normas medioambientales. Lo anterior fue confirmado en la entrevista realizada a Carolina Aguayo, funcionaria del Ministerio de Energía, quien ha participado en mesas de diálogo sobre el uso de biomasa en el sur del país.

Intensidad del componente: media – baja (2)

- Amenaza de sustitución.

Dentro del mercado de calefacción, existen diversos combustibles y métodos que compiten con el pellet de madera, por lo que si los costos de combustión para los consumidores aumentan éstos optarán por productos sustitutos siempre y cuando la regulación por parte del Estado lo permita. Se debe considerar que el pellet de madera no sólo tiene ventajas económicas, sino también medioambientales, lo cual afecta negativamente la amenaza de sustitución.

Intensidad del componente: medio (3)

- Costo de cambio a sustitutos para los compradores.

La utilización del pellet de madera como combustible conlleva a una inversión inicial considerable para los consumidores, por lo que el cambio a productos sustitutos por parte de los consumidores es considerablemente bajo cuando ya utilizan el pellet como combustible para calefacción.

Pese a lo anterior, el mercado industrial se diferencia en este aspecto con el mercado residencial, debido a su consumo a gran escala, el cambio a otro combustible sustituto es altamente probable si el cambio a otro combustible reduce considerablemente sus gastos.

Intensidad del componente residencial: bajo (1)

Intensidad del componente industrial: alto (5)

3. Agresividad y Rentabilidad del productor del sustituto

Como se mencionó anteriormente, el principal combustible utilizado para la calefacción residencial corresponde a leña. Al comparar las características de la leña con su competencia convencional (gas, electricidad y combustibles fósiles) la principal diferencia es el precio de venta, lo cual explica el consumo masificado de este combustible. Si se compara el precio de venta del pellet de madera con la leña certificada, no existe gran diferencia, por lo que la amenaza del principal productor sustituto (leña) no representa mayor amenaza a la industria del pellet. En el caso de la leña no certificada, al ser un mercado mayoritariamente ilegal, su intensidad de fuerza no aumenta al no existir cooperación entre agentes.

En cuanto a la agresividad y rentabilidad del productor sustituto en el mercado industrial, se espera una mayor reacción por parte de los comercializadores de gas y carbón, quienes tienen mayor participación en el mercado industrial, quienes realizan contratos de suministro, los cuales dificultan el traspaso de demanda industrial hacia los pellets de madera.

Por lo que, considerando el mercado industrial, la competencia de bienes sustitutos tendrá un mayor poder de competencia en comparación al mercado residencial.

Intensidad del componente Industrial: alto (5)
Intensidad del componente Residencial: bajo (1)

4. Poder de Negociador de los proveedores

- *Cantidad de proveedores.*

Dentro de la industria forestal, el subsector de madera aserrada y cepillada presenta una de las mayores cantidades de empresas de dicho sector. Por lo que actualmente, el número de aserraderos en Chile es relativamente alto, lo cual se pudo corroborar en el trabajo de campo, en donde se pudo identificar varios proveedores existentes de aserrín húmedo³⁰.

Intensidad del componente: medio – bajo (2)

- *Mayor concentración relativa.*

³⁰ El aserrín con bajo niveles de humedad tiene un alto grado de utilización por parte de los aserraderos como combustible en sus propios procesos productivos, generalmente, para disminuir la humedad de la madera a tratar.

Las grandes empresas forestales presentes en el mercado chileno (ARAUCO, CMPC Y MASISA) presentan un alto grado de concentración en plantaciones forestales, como también la posibilidad de ejercer poder de mercado en lo que refiere a la adquisición de insumos para plantaciones y contratación de servicios asociados a esta actividad productiva.

En cuanto al mercado de madera aserrada y cepillada, los grandes aserraderos representan un 2,4% del total de empresas y son responsables de un 67% de la producción de madera aserrada, mientras que los pequeños aserraderos corresponden al 85% de las empresas y generan el 8,6% del volumen de producción de madera aserrada por industria.

A pesar de la gran cantidad de proveedores de aserrín que existe en el mercado chileno, como se mencionó anteriormente, el poder de mercado se concentra en los grandes productores, los cuales tienen el poder de decidir la cantidad a producir tanto como los precios en la industria, dando como resultado un alto poder de negociación de los proveedores que controlan el mercado.

Intensidad del componente: medio – alto (4).

- *Disponibilidad de sustitutos para la industria.*

Una de las principales ventajas que tiene el pellet de madera es la utilización de residuos madereros para su producción, lo anterior juega un rol negativo al momento de analizar el poder negociador de los proveedores, ya que al no existir un insumo alternativo para la producción de pellets debido al grado de especialización que tienen las plantas productivas, el poder de los proveedores de aserrín aumenta.

Intensidad del componente: alto (5)

- *Costo de cambio de proveedor.*

Dada la baja densidad energética del aserrín, el costo de transporte de la materia prima hacia la planta productora tiene un rol considerable en los costos de producción del pellet, es por ello que la planta productora debe estar lo más cerca posible del proveedor de insumos, lo cual tiene un costo asociado al cambio de proveedor bastante alto debido a la imposibilidad de cambiar la ubicación de la planta, y a la vez, de proveedor.

Intensidad del componente: alto (5)

- *Amenaza de integración vertical hacia atrás de los competidores.*

La estructura actual del mercado forestal en Chile impide la integración vertical una vez iniciada su actividad de los actuales competidores en el mercado de producción de pellets de madera. Debido a los altos costos que incurriría una empresa al cambiar su ubicación, la integración vertical se dificulta de gran manera si no fue considerada al momento de iniciar las actividades y construir la planta.

Intensidad del componente: medio (3)

- *Amenaza creíble de integración vertical hacia delante de los proveedores.*

La probabilidad de integración vertical hacia delante por parte de los proveedores es alta si éstos cuentan con los recursos necesarios, ésta probabilidad aumenta si el aserrín disponible tiene bajos niveles de humedad (lo cual reduce los costos), como también aumenta si la cantidad de materia prima que posean sea considerable alta. En cuanto a los proveedores de menor escala, la probabilidad de integración vertical hacia delante disminuye considerablemente debido a la localización de la planta productora debe ser cercana a la materia prima, y al no tener grandes concentraciones de aserrín, llegar a acuerdos con su competencia en cuanto a los insumos necesarios para producir a una escala considerable.

Intensidad del componente: media – alta (4)

- *Contribución de los insumos a la calidad de los competidores.*

No existe mayor contribución por parte de los insumos al producto final, ya que las características del pellet dependen fundamentalmente del proceso de fabricación. Pese a lo anterior, es importante resaltar que el aserrín debe contener bajos niveles de elementos externos (tales como tierra o rocas), lo cual no es una característica poco común en el mercado, la cual dependerá principalmente del manejo que se le dé a la materia prima (traslado y almacenamiento).

Intensidad del componente: bajo (1)

- *Fracción del costo total de los competidores contribuido por los proveedores.*

Para el mercado de aserrín seco, los proveedores existentes están integrados verticalmente hacia delante en la producción de pellets o utilizan el aserrín como combustible en sus propios procesos. Por lo que un proveedor de aserrín comercializa los insumos sólo con un productor de pellet o en algunos casos posee la materia prima.

En el caso de los productores de aserrín húmedo, no existe mayor integración vertical, y existe una gran cantidad de materia prima disponible, por lo que la fracción de costo total de los competidores contribuido por los proveedores no es un factor que afecte de forma negativa al mercado de producción de pellets ya que dicho factor no aumenta el poder negociador de los proveedores.

Intensidad del componente: medio – bajo (2)

- *Baja importancia de la industria para las utilidades de los proveedores.*

Para los principales agentes presentes en la industria forestal en Chile, la rentabilidad de una planta de producción de pellets de madera no es un negocio que cumpla sus expectativas de rentabilidad, el principal negocio de dichas empresas está en la celulosa, lo cual sólo utiliza una parte del árbol. En cuanto a los proveedores de aserrín, al ser un subproducto de sus procesos, el mercado del aserrín no tiene mayor aporte a la rentabilidad de la industria de madera aserrada.

Intensidad del componente: bajo (1)

5. Poder negociador de los compradores

- *Cantidad de compradores.*

El número de compradores de pellets de madera en Chile cada día es mayor, así lo demuestra la tendencia de demanda en los últimos años, en donde se ve una importante alza. Por lo que el poder negociador de los compradores en éste ámbito es bajo.

Intensidad del componente: bajo (1)

- *Concentración relativa.*

Si se considera el mercado domiciliario, no tiene una gran concentración relativa. Por lo que el poder de negociación de los consumidores en éste punto es bajo.

En el caso del mercado industrial, debido al volumen comercializado a gran escala, la concentración relativa aumenta, por lo que su poder negociador es medio-alto.

Intensidad del componente residencial: bajo (1)

Intensidad del componente industrial: medio-alto (4)

- *Disponibilidad de sustitutos para los compradores.*

La alta disponibilidad de sustitutos en el mercado de la calefacción otorga a los compradores un aumento en el poder negociador al amenazar a la industria con cambiarse a los sustitutos.

Intensidad del componente: alto (5)

- *Costo del cambio del comprador.*

Pese a la existencia de diversas opciones para calefacción, el costo asociado al cambio de equipos para calefacción es alto debido a la inversión inicial de los artefactos para la utilización de pellets. En el caso de optar por un competidor u otro, el costo asociado al cambio de producto dentro de la misma industria es prácticamente cero debido a la similitud de los pellets.

Intensidad del componente: bajo (1)

- *Amenaza creíble de los compradores de integración vertical hacia atrás.*

Dadas las características técnicas de la maquinaria necesaria para producir pellets de madera, como también el monto de inversión necesario para llevar a cabo un proyecto en donde se implemente una línea de producción, la integración vertical hacia atrás por parte de los compradores tiene una probabilidad muy baja, por lo que no existe una amenaza creíble por parte de los compradores en éste ámbito.

Intensidad del componente: bajo (1)

- *Amenaza de la industria de integración vertical hacia delante.*

Existen distintas maneras de llegar al consumidor final de pellets, la primera corresponde a la venta a través de grandes tiendas (Easy y Sodimac), la segunda es a través de venta directa del productor al comprador y la tercera corresponde a la venta de pellets a otro productor que comercialice bajo su propia marca (como es el caso de ECOMAS, actual vendedor y comprador de pellets). Al existir diversas alternativas de venta del producto, existe una fuerte amenaza de la industria para la integración vertical hacia delante, por lo que el poder negociador de los compradores disminuye.

Intensidad del componente: bajo (1)

- *Contribución de la industria a la calidad/satisfacción de los compradores.*

El uso de pellet de madera para calefacción tiene diversas ventajas tanto cuantitativas como cualitativas frente a productos sustitutos, por lo que la contribución a la calidad de calefacción y satisfacción final de los consumidores es considerable, lo cual reduce el poder negociador de los compradores finales.

Intensidad del componente: bajo (1)

- *Fracción del costo total de los compradores contribuido por los competidores.*

Se deben considerar tres tipos de usuario final, el primero corresponde a los distribuidores, quienes, tomando como supuesto que son grandes tiendas (ej. Easy), tendrán un bajo costo total contribuido por la industria del pellet en comparación a todos sus productos.

Considerando que el comprador es el cliente final de energía para calefacción, la fracción del costo total de los compradores dado que el mayor costo energético asociado a dicho segmento es producto de la calefacción, el costo contribuido por los competidores (combustibles para calefacción) es relativamente alto.

Por último, está el mercado industrial, los cuales dependiendo de los requerimientos energéticos (por lo cual usan pellets), tendrán variaciones en el costo total contribuido por la industria de combustibles. Es por eso que se considerará un alto poder en éste ámbito debido al interés de negociar sus precios considerando un bajo aporte a sus costos totales por parte del combustible.

Por simplicidad, los primeros dos grupos se agruparán en el segmento residencial.

Intensidad del componente residencial: media-alta (4)

Intensidad del componente industrial: alto (5)

- *Importancia de los compradores para las utilidades de la industria.*

Si se considera el mercado industrial (a gran escala), los compradores corresponden una fracción de suma importancia para la industria, por lo que su poder negociador aumenta debido a la posible amenaza de dejar de comprar pellets o utilizar productos sustitutos para la calefacción.

En el caso del mercado residencial, los compradores individuales no representan mayor amenaza en este ámbito, por lo que su poder es bajo.

Intensidad del componente industria: medio-alto (4)

Intensidad del componente residencial: bajo (1)

Lo anterior queda resumido en la siguiente Tabla 31:

Tabla 31: Resumen Porter mercado industrial y residencial

Fuerza	Promedio mercado	
	Industrial	Residencial
Rivalidad entre competidores	2	2
Amenaza de nuevos competidores	3	2
Agresividad y Rentabilidad del productor del sustituto	5	1
Poder Negociador de los proveedores	3	3
Poder Negociador de los compradores	3	2
Promedio	3	2

En la medida en que las barreras de entrada son mayores, entonces la rentabilidad esperada aumenta, ya que el número de competidores se reduce y se acerca cada vez más a una estructura de mercado monopólica u oligopólica. En tanto que, a mayores barreras de salida, los competidores ven más difícil su abandono de la industria y que deberán soportar los períodos de baja rentabilidad dentro de la industria, lo que incrementa el riesgo de la industria. Desde luego, este análisis supone que todos los demás factores relevantes a considerar en la rentabilidad permanecen constantes³¹.

Lo anterior queda resumido en la siguiente Tabla 32:

Tabla 32: Barreras de entrada y salida vs. rentabilidad esperada de largo plazo

		Barreras de Salida	
		Altas	Bajas
Barreras de entrada	Altas	Rentabilidad promedio alta y variable	Rentabilidad promedio alta y estable
	Bajas	Rentabilidad promedio baja y variable	Rentabilidad promedio baja y estable

Fuente: Contreras; Diez, 2015 [24] .

³¹ Dicho análisis fue citado del Libro “Diseño y Evaluación de Proyectos, Un Enfoque Integrado” (Contreras E.; Diez C.) [24] p.60.

Si consideramos los valores obtenidos en el análisis realizado (Porter), se puede identificar que las barreras de entrada y salidas tanto para el mercado objetivo residencial como industrial son altas, por lo que la rentabilidad promedio debería ser alta y variable.

La conclusión del análisis externo de la industria arroja un mercado atractivo y variable. Se pudo identificar que el atractivo de la industria tiene un mayor valor si se considera el mercado residencial que el industrial.

En base a lo anterior, se considerará como mercado objetivo el sector residencial.

5.2. Análisis del entorno de la empresa

5.2.1. Factores macro que afectan al proyecto

Políticos y legales:

Considerando la información mostrada en la sección **Antecedentes Legales**, los factores que afectan al proyecto se resumen en los siguientes aspectos:

Dada la contaminación presentada en distintas zonas del país, el objetivo actual de la estrategia presentada por Gobierno de Chile establece que, en el año 2018, se contará con un total de 20 planes vigentes, abarcando más de un 57% de la población y un 87% de la población expuesta a la contaminación.

Abordar esta contaminación traería beneficios en salud valorizados en alrededor de 8.000 millones de dólares al año. Por lo que se espera que el gobierno mantenga y aumente su interés en reducir dichos problemas, siguiendo su postura actual a lo largo del tiempo.

Dichos planes regulan el uso de artefactos para calefacción que no cumplan con la norma de calefactores, la cual queda resumida en la siguiente información mostrada en la Ilustración 14:

Ilustración 14: Norma de emisión de calefactores



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente

Dicho programa será aplicado a los calefactores que utilicen pellets a partir del año 2016.

El segundo factor político que afecta al proyecto es el programa de recambio de calefactores, descrito en la sección **Programa de Recambio de Calefactores**, en donde se busca reemplazar, mayoritariamente, los calefactores a leña utilizados por la población chilena potenciando el uso de calefactores a pellets.

5.2.2. Factores Claves del éxito de las empresas en el sector

De acuerdo a los antecedentes mostrados anteriormente, los factores claves del éxito de las empresas en el sector son los siguientes:

- Proveedores de materia prima: La materia prima es fundamental en el proceso de fabricación de pellets de madera, por lo que se debe asegurar un continuo abastecimiento para evitar una subutilización de la planta.
- Tipo de materia prima: Utilizar aserrín seco es una gran ventaja en cuanto a los costos de inversión y de operación, una planta de producción que no incluya el proceso de secado, tendrá mayor rentabilidad que una línea en donde se incluya dicho tratamiento. En el caso que la materia prima requiera secado, se recomienda que el volumen de producción sea considerablemente grande, lo cual compensaría, de cierta manera, los costos asociados al secado debido a la economía a escala en la producción. Dicha información se confirmó al momento de realizar la cotización de la línea a la empresa Ortizco, representante oficial de

la marca [Kahl] en Chile, quien mencionó que la escala mínima rentable de una planta productiva, utilizando su sistema de secado, es de 3,5 [ton/h] (capacidad caso base: 1,5 [ton/h]).

- Localización de la planta: Luego de asegurar el abastecimiento del proceso productivo de la planta, la localización de ésta es parte fundamental en el rendimiento económico del proyecto debido al alto costo asociado al transporte de biomasa de baja densidad (aserrín húmedo).
- Maquinaria a utilizar: La maquinaria a utilizar forma parte importante del proceso productivo, considerando los antecedentes mostrados por la empresa Ortizco, en la cual se realizó la cotización de la planta para el caso base, utilizar maquinarias de baja calidad tiene un alto riesgo en la puesta en marcha de la línea. Un ejemplo de lo mencionado es el caso de maquinaria China importada que no logró pasar la etapa de encendido.
- Proceso de producción: El manejo de materia prima dentro del proceso de producción forma parte importante de los costos asociados al mantenimiento y eficiencia de la maquinaria, un mal manejo en los procesos puede dañar los equipos, entorpeciendo la capacidad de producción y aumentando los costos asociados al mantenimiento debido al desgaste de la maquinaria.

5.3. Plan de marketing

A continuación, se presentará el plan de marketing, en el cual se analizará y describirá el segmento objetivo y el perfil de los clientes, productos sustitutos y su comparación frente al pellet de madera.

5.3.1. Análisis del mercado objetivo

Dado a los diversos factores mencionados en los antecedentes del proyecto, los cuales se resumen en el análisis externo (Porter), el segmento objetivo será el sector residencial.

En base a la información presentada en la sección **Consumo para la calefacción del sector residencial**, las viviendas chilenas se pueden clasificar en tres grandes zonas dependiendo de los grados día de calefacción anuales. De dicho análisis se puede concluir que la zona B, debido al tamaño de mercado, es el segmento más atractivo en términos de energía consumida para calefacción. Las regiones asociadas a esta zona son: XIII (RM), VI, VII, VIII, IX y XIV.

Lo anterior queda reflejado en la siguiente tabla, en donde se muestra la proyección de consumo de energía por viviendas en Chile para distintas zonas.

Tabla 33: Proyección consumo energía viviendas [MWh/año]

	2015	2020	2030	2040	2050
Zona A total	1.431.814	3.250.383	5.896.912	7.083.106	7.309.788
Zona B total	25.610.033	40.430.178	53.393.852	56.174.496	57.443.714
Zona C total	10.912.074	13.436.820	15.413.476	14.838.305	14.135.252

Fuente: MAPS Chile, 2012.

Considerando los valores del poder calorífico de los pellets, mostrados en la sección **Combustibles madereros**, dichos consumo de energía para calefacción, correspondería, en términos de Toneladas/año de pellets, a los siguientes valores:

Tabla 34: Consumo potencial de pellets sector residencial [ton/año]

	2015	2020	2030	2040	2050
Zona A total	271.477	616.284	1.118.075	1.342.982	1.385.961
Zona B total	4.855.752	7.665.703	10.123.661	10.650.881	10.891.529
Zona C total	2.068.967	2.547.668	2.922.449	2.813.394	2.680.093

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de MAPS Chile, 2012.

Al observar los valores desagregados del consumo para calefacción de la Zona B, se puede identificar que la mayor parte del consumo es realizada por viviendas urbanas.

Tabla 35: Proyección desagregada por tipo de vivienda Zona térmica B

	2015	2020	2030	2040	2050
Zona B total					
Urbano Departamento	799.718	1.575.545	2.645.597	3.240.500	3.618.110
Urbano Casa y Otros	17.482.457	29.150.908	39.122.519	40.840.182	41.507.702
Rural Casa	7.327.858	9.703.725	11.625.736	12.093.813	12.317.902
Total	25.610.033	40.430.178	53.393.852	56.174.496	57.443.714

Fuente: MAPS Chile, 2012.

En cuanto a la proyección de combustibles utilizados, la leña sobresale como el combustible de mayor utilización, dicho consumo es presentado en la siguiente tabla.

Tabla 36: Proyección consumo leña para calefacción Zona térmica B

	2015	2020	2030	2040	2050
Zona B total					
Urbano Depto.	-	-	-	-	-
Urbano Casa y Otros	12.292.697	10.831.648	9.208.456	10.725.382	10.885.620
Rural Casa	6.971.775	8.429.087	9.616.936	10.025.305	10.229.717
Total	19.264.472	19.260.735	18.825.392	20.750.688	21.115.337

Fuente: MAPS Chile, 2012.

Se puede observar que el consumo de leña en departamentos es nulo, por lo que, dadas las similitudes presentes entre los calefactores que utilizan leña y pellets. Se descarta dicho segmento como público objetivo del producto.

Como se mencionó anteriormente, existe un gran costo asociado al transporte de biomasa, a pesar de que el pellet de madera contiene una gran densidad energética, se recomienda ubicar la planta cerca del cliente final, para así mejorar la rentabilidad del proyecto. Sumado a lo anterior, dado que la Zona B del estudio abarca una gran longitud del terreno nacional, se procederá a analizar las regiones que la componen: XIII (RM), VI, VII, VIII, IX y XIV.

En base a la información entregada en la sección *Planes de descontaminación del Gobierno de Chile*, la Región Metropolitana se descarta como segmento objetivo debido a las restricciones en el uso de calefactores a pellets.

Considerado lo anterior, dada la similitud del artefacto a utilizar, se analizarán las regiones de la Zona B en base al consumo de leña.

Del consumo total de leña a nivel nacional, 5 regiones utilizan el 81% del total de leña consumida para calefacción [25]. Las cuales son las siguientes:

Tabla 37: Concentración de demanda de leña en Chile

Región	Población Urbano		Población Rural		Consumo Total
	Habitantes	Consumo de leña [m^3 /hbte]	Habitantes	Consumo de leña [m^3 /hbte]	
VIII	1.728.242	0,33	376.853	0,66	819.042
IX	665.385	1,13	317.905	1,82	1.330.249
X y XIV	830.452	1,94	383.073	2,89	2.719.874
RM	6.643.585	0,2	210.527	0,4	1.412.927
Total Regiones	9.867.664	4	1.288.358	6	6.282.092
Total Nacional	14.802.590	-	2.291.410	-	7.794.688

Fuente: Chile Ambiente Corporación, 2008.

Considerando las regiones XIII (RM), VI, VII, VIII, IX y XIV (Zona B), como también la información presentada en la Tabla 37: Concentración de demanda de leña en Chile, por lo que a continuación se presentarán las regiones más atractivas con sus principales ciudades respectivamente:

- Región del Bío-Bío [VIII Región]: Lebu, Los Ángeles, Concepción y Chillán
- Región de Los Ríos [XIV Región]: Valdivia y La Unión

- Región de la Araucanía [IX Región]: Temuco, Loncoche, Padre Las Casas y Angol.

De las ciudades mencionadas, Valdivia, Chillán, Temuco, Padre Las Casas, Los Ángeles y Concepción presentan planes concretos por parte del gobierno en cuanto a descontaminación, en donde se potencia el uso del pellet. La información de los anteproyectos de las zonas Temuco y Padre Las Casas, Los Ángeles, Chillán fue presentada en la sección **Planes de descontaminación del Gobierno de Chile**

Basado en la información entregada en la sección **Rango de precios de calefactores** el precio de un calefactor a pellet en las regiones recién descritas varía entre los \$500.000 y \$2.270.000.

5.3.2. Productos sustitutos

Existen diversos motivos por los cuales el pellet de madera sobresale frente a los principales combustibles utilizados hoy en día. A continuación, se describirán las principales ventajas de éste producto:

- **Comparación económica frente a otros combustibles:**

La primera ventaja del pellet de madera frente a sus competidores es su valor económico, al realizar un análisis comparativo del costo por energía producida de cada combustible, el pellet de madera junto con la madera, son los combustibles de menor costo presentes en el mercado. Si se consideran otros combustibles, los valores de energía pueden alcanzar más del doble del valor de este biocombustible.

Debido a las características geográficas de Chile, los costos energéticos para calefacción varían según la ubicación, ya que, dependiendo de la zona analizada, los precios de los combustibles varían entre distintas áreas geográficas.

A continuación se presentará la comparación de precios en las distintas zonas de Chile en donde el gobierno ha presentado interés en cuanto a planes de descontaminación, lo cual hace que el mercado del pellet de madera sea más atractivo debido a los incentivos mostrados por el gobierno³².

³² Los consumos mostrados a continuación representan el valor mensual de energía para calefacción en base a distintos requerimientos en las horas diarias para mantener temperaturas de confort en las distintas zonas.

Rancagua – Curicó – Talca – Chillán – Concepción – Los Ángeles:

El precio de comparación se basó en los siguientes supuestos: Se consideró una casa de 2 a 3 dormitorios entre 60 y 80 [m²], calefaccionándose durante 8 horas al día a una temperatura de confort de 18° C y una demanda térmica mensual de 871 [kWh] [11].

Ilustración 15: costos para calefacción ciudades centro sur (1)



Fuente: Ministerio del medio Ambiente, 2015

En este caso el pellet de madera sólo es superado por el uso de calefactores tanto certificados como no certificados que utilizan leña como combustible, en donde sus valores alcanzan los CLP\$37.000 y CLP\$27.000 respectivamente, el valor asociado al uso de pellet como combustible es de CLP\$39.000 y el máximo valor corresponde a la electricidad, alcanzando los CLP\$138.000.

Temuco – Osorno – Valdivia:

Se consideran los mismos supuestos que el caso de Rancagua – Los Ángeles, sólo con la diferencia en la demanda térmica mensual que en éste caso es de 997 [kWh] [11].

Ilustración 16: costos calefacción ciudades centro-sur (2)



Fuente: Ministerio del Medio Ambiente, 2015.

Se puede apreciar el aumento en el valor de la energía para calefacción en todos los tipos de calefactores, en donde nuevamente el pellet de madera sólo es superado por el uso de leña como combustible, con valores iguales a CLP\$30.000 en el caso de calefactores certificados y CLP\$41.000 para calefactores a leña no certificados. El costo para calefacción asociado al pellet de madera corresponde a CLP\$44.000 y el máximo valor es alcanzado nuevamente por la electricidad, correspondiente a CLP\$175.000.

Considerando la tendencia del Gobierno al apoyo en el uso del pellet de madera frente a sus competidores, como también la ausencia demostrada por el producto en el mercado nacional, el precio del pellet puede llegar a alcanzar valores muy superiores a los actuales, llegando incluso a igualar al precio de los combustibles fósiles. Los efectos de dichos supuestos serán desarrollados en el análisis de sensibilidad con respecto al precio de venta, en donde se utiliza los precios de los productos sustitutos al pellet de madera en el mercado chileno.

- **Transporte y almacenaje fácil, limpio y seguro:**

Considerando la información mostrada en la sección **Combustibles madereros** del presente informe, se conoce que el pellet tiene una alta densidad energética, lo que disminuye los costos asociados al transporte y manipulación dando una importante ventaja logística.

Los pellets no presentan riesgos de explosión, no son volátiles, no producen olores ni representan ningún riesgo para la salud en caso de fuga o vertido.

La homogeneidad, bajo contenido de humedad y ausencia de sustancias químicas nocivas en su composición, el pellet de madera posee un bajo nivel de emisiones y cenizas.

- **Facilidad en su uso:**

Dada las tecnologías presentes en el actual mercado de calefactores a pellets, el uso de este biocombustible es muy simplificado, ya que el proceso de combustión puede ser configurado en base a los requerimientos necesarios, dando la posibilidad de automatizar completamente la calefacción.

El mantenimiento de las estufas también tiene un uso simplificado, ya que sólo necesitan la limpieza de las cenizas acumuladas una vez por semana (las cuales se almacenan en un compartimento que facilita aún más la limpieza de la estufa).

Debido a la forma cilíndrica, lisa y del tamaño pequeño, el pellet tiende a comportarse como un fluido, lo cual facilita el movimiento del combustible y la carga automática de equipos de combustión. Se suma a lo anterior la forma de cargar un calefactor, la cual no está limitada por la fuerza que deba tener una persona (en el caso de la leña, movilizar troncos puede ser inviable para personas mayores debido a la exigencia física).

Como consideración extra, la alta densidad energética permite la reducción del tamaño de los equipos.

- **Es más Ecológico [26]:**

La gestión sostenible de los bosques evita su deterioro, los mantiene jóvenes, productivos y evita los incendios forestales. El consumo de pellets incrementa la demanda de madera y por lo tanto estimula su gestión.

En su crecimiento, los árboles jóvenes acumulan más CO₂ que las masas ya maduras. La gestión productiva de los bosques retira dióxido de carbono de la atmósfera contribuyendo a frenar el cambio climático.

El proceso de producción consume muy poca energía que, además, suele proceder de la combustión de sus propios subproductos como la corteza.

Da valor a los subproductos del aserrío, reduciendo la cantidad de desperdicios que van al vertedero.

- **Ayuda a reducir los niveles de contaminación:**

Al comparar los artefactos de combustión, el uso del pellet de madera presenta una gran ventaja tanto en la eficiencia de las estufas y calderas como en las emisiones producidas. La siguiente tabla resume cuantitativamente dichas ventajas:

Tabla 38: Comparación estufas y calderas

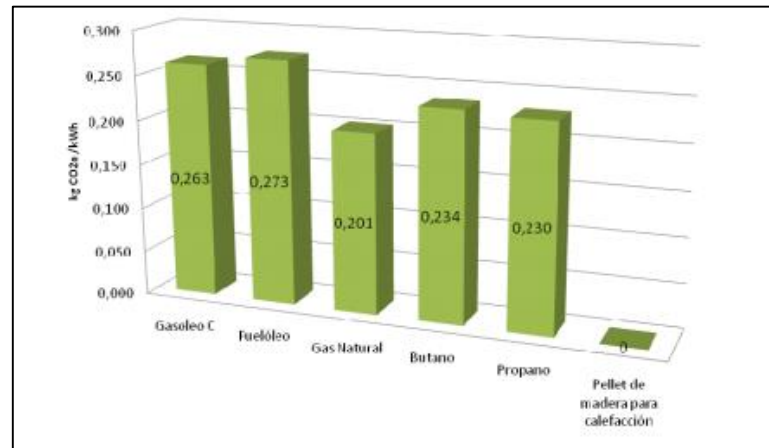
Comparación estufas y calderas			
	Eficiencia (%)	Emisiones [miligramos/MJ]	[USD/kW]
Estufa de chimenea	10	50000	0
Estufa tradicional (leña húmeda)	45	5000	30
Estufa tradicional (leña seca)	60	500	30
Estufa a pellets	90	50	200
Calderas Industriales (leña)	70	250	100
Calderas Industriales (pellets)	95	30	200
Planta de co-generación (astillas de madera)	85	20	2000

Fuente: IEA 2009.

Pese a que la combustión de madera y sus derivados (Pellet de madera) producen CO₂ y H₂O, el protocolo Kioto considera el factor de emisión de la biomasa neutro, ya que las emisiones de CO₂ producidas durante la combustión fueron absorbidas previamente por los árboles³³. Es por ello que el pellet de madera es una buena herramienta para reducir la huella de carbono [26].

³³ Dicha emisión de CO₂ no considera el proceso de fabricación del Pellet.

Gráfico 9: Factores de emisión [Kg CO₂e/kWh]



Fuente: (Apropellets³⁴), 2013.

- **Combustible estandarizado**

Uno de los principales problemas que presenta el mercado actual de la leña es la informalidad del mercado, provocando el uso de leña no certificada con altos niveles de humedad, aumentando las emisiones producto de la combustión. Al ser un producto estandarizado, el pellet de madera da seguridad a los consumidores al momento de su compra, disminuyendo así la probabilidad de dar malas prácticas a la biomasa.

- **Reduce la dependencia energética y estimula el crecimiento local [26]**

El contar con una propia reserva de materia prima, permite que el precio del pellet sea accesible y estable frente a inestabilidades políticas e influencias externas.

Es territorial ya que el valor añadido se queda en la región productora, donde se crean puestos de trabajo tanto para el aprovechamiento forestal como para la transformación industrial del pellet. Además, se crean puestos de trabajos indirectos también en la región al crecer el número de calderas siempre que existe una planta de pellets en funcionamiento en una región.

Debido al gran mercado que abarca el uso de biocombustible en Chile, como también en la similitud de sus características, la disposición de materia prima en el país y el factor social (costumbres de uso), se determinó que el segmento objetivo para el pellet de madera es el mercado de calefacción residencial, comercial e industrial que utilice biocombustibles de origen forestal. Lo anterior debido a que Chile tiene una cantidad considerable de recursos forestales lo cual puede dar sustentabilidad a ese tipo de biocombustibles a largo plazo.

³⁴ Asociación de Productores de Pellets de Madera del Estado Español.

Si se considera el factor económico, los biocombustibles madereros presentan una gran ventaja frente a su competencia, por lo que a continuación, se analizarán las características del pellet frente a la leña, su principal competidor.

- **Homogeneidad:** El pellet presenta una fuerte ventaja frente a la leña debido a su estandarización en la producción y baja humedad, lo cual provoca un rendimiento de combustión uniforme y gran homogeneidad. En el caso de la leña, su humedad, poder calorífico y densidad variada hacen del rendimiento de combustión mucho menor a la del pellet, como también los problemas asociados a la contaminación descritos en secciones anteriores.
- **Condiciones de almacenamiento:** Nuevamente las características del pellet dan una ventaja sobre la madera. El cual, debido a su alta densidad, requiere poco espacio de acopio en comparación a la leña, la cual requiere almacenes techados de gran tamaño para mantener el producto protegido de la lluvia y humedad.
- **Alimentación de combustible:** La forma cilíndrica, lisa y tamaño pequeño del pellet causan un comportamiento de este similar a la de un fluido, lo que facilita el movimiento del combustible y la carga automática de equipos de combustión. Esto favorece una dosificación eficiente, permitiendo regular la temperatura del proceso. Contrariamente, la leña nuevamente presenta una desventaja frente al pellet debido a que todos los equipos que utilizan este combustible utilizan carga manual.
- **Operación y uso:** Dado que la leña presenta una elevada proporción de humedad, su ineficiencia energética predispone a la presencia de gases sin quemar y a la condensación de vapor de agua y de alquitrán por sobre las paredes del equipo de combustión causando incrustaciones, generando grandes volúmenes de cenizas que deben ser retirados del equipo con cierta periodicidad y gases contaminantes que deben ser mitigados [23]. Dichas características son una clara desventaja frente a las características del pellet, el cual, por su homogeneidad, bajo contenido de humedad y ausencia de sustancias químicas nocivas en su composición, posee un bajo nivel de emisiones y cenizas.
- **Proceso productivo:** El proceso productivo le da una ventaja a la leña debido a que esta posee un menor costo de producción al no requerir uso intensivo de energía ya que el secado se realiza de manera natural. A lo anterior se suma el alto costo de inversión requerido para la fabricación del pellet.
- **Impactos:** Su extracción no regulada ejerce presión sobre masa de bosques y ecosistemas, mientras que su uso de leña con altos contenidos de humedad

favorece la generación de material particulado y contaminación atmosférica. Sin embargo, su producción y consumo reducen la dependencia energética de las zonas donde este recurso es abundante, impulsando la economía local. En este contexto, el pellet nuevamente tiene una ventaja por sobre la leña debido a que su fabricación no ejerce presión sobre el medioambiente y sus recursos naturales al ser elaboradas en base a residuos forestales. Además, por el bajo nivel de emisiones que produce su combustión, pueden ser usados en zonas altamente pobladas con restricciones de emisiones.

6. Plan Económico Financiero

A continuación, se describirá el plan económico y financiero del proyecto, en el cual, se analizará en detalle el caso base para luego utilizar dicha información como base para el análisis de distintas plantas, las cuales, tendrán diferencia en proveedor, capacidad y proceso de secado.

La elaboración del plan financiero se basó en la información entregada por la empresa Ortizco, opinión de expertos³⁵ y cotizaciones realizadas a la empresa Biomass Technology (representante de la marca General Dies en Chile).

Antes de comenzar el análisis financiero, es necesario definir una serie de variables, las cuales son presentadas a continuación.

Tabla 39: Tipos de cambio utilizados

Valor de UF	25.194
Tipo de cambio US \$	690
Tipo de cambio Euro	773

El precio de venta se basará en la información entregada por la empresa Biomass Technology, en donde se mantuvo conversaciones con su representante Miguel Canale.

La empresa se especializa en el rubro del pellet, en donde distribuyen tanto máquinas de producción, calefactores residenciales, calefactores industriales y, por último, la distribución y comercialización del combustible a utilizar, pellets de madera.

³⁵ La descripción de la trayectoria laboral de los expertos que fueron consultados para este informe esta descrita en ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

Según lo mencionado por la empresa, el precio de compra de pellets es de \$130 pesos chilenos, valor que se usará como precio de venta del pellet producido por la planta.

- Precio de venta para caso base: \$130
- Precio de compra de la materia prima [\$/ton]: \$7.407, valor decretado por el proveedor de Loncoche.

Recursos humanos: Una característica de las plantas consideradas anteriormente, es su nivel de automatización, por lo que se consideran 2 operarios y un supervisor por turno de 8 horas de producción. Dichos operarios no requieren mayor formación técnica, por lo que, según el criterio de los expertos, bastaría con una persona con nivel educacional igual a básica superior. En cuanto al supervisor, éste puede ser un técnico con experiencia en el rubro, como también un ingeniero civil capacitado.

En base a lo anterior, considerando como supuesto que la planta funcionará en dos turnos de 8 horas cada uno, se resume los recursos humanos necesarios en la siguiente tabla:

- **Costos de inversión**

A continuación, se presentarán los costos de inversión asociados al proceso productivo.

Tabla 40: Inversión en infraestructura

Infraestructura	Precio [CLP\$]
Terreno industrial semi-urbanizado	264.539.205
Galpón y construcciones anexas	362.796.624
Empalme eléctrico y agua	15.116.526
Pavimentaciones y estabilizado	292.252.836
Cierre perimetral	26.453.921
Subtotal Terreno y Construcciones	961.159.112

Tabla 41: Inversión en línea de proceso

Línea de proceso	Valor CLP\$
Secador de cinta	282.145.000
Planta pelletizado	111.312.000
Equipos	33.181.025
Equipos eléctricos de mando y regulación	34.475.800
Equipos seguridad anti-exposición	39.952.505
Línea de envasado	24.349.500
Equipos nacionales	
Área y equipos recepción - alimentador secador	114.633.656
Equipos para secador	10.700.000
Caldera de 2350 Kg/h vapor saturado	276.000.000
Equipos para pelletizadora	7.450.000
Tolva-silo recepción pellets pre envasado	100.000.000
Subtotal Línea de proceso	1.034.199.486

Debido a que gran parte de los equipos son elaborados en el extranjero, se consideró un costo total de 15% del precio total del equipo en términos de flete e Internación.

Tabla 42: Costo de flete e internación de maquinaria extranjera

	Valor [CLP\$]
Flete e internación	78.812.375

Tabla 43: Costo de montaje y entrenamiento

	Valor [CLP\$]
Montaje y entrenamiento	55.114.900

En cuanto al capital de trabajo, considera 81 toneladas de materia prima, 300 toneladas de producto terminado y dos meses de salarios, lo cual, en términos monetarios, queda reflejado en la siguiente tabla:

Tabla 44: Capital de trabajo

Capital de trabajo	Valor [CLP\$]
Materia prima	599.967
Producto terminado	23.100.000
Salarios 30 días + otros	9.200.000
Subtotal capital de trabajo	32.899.967

Lo cual queda resumido en la siguiente tabla:

Tabla 45: Resumen inversión caso base

Terreno y Construcciones	\$961.159.112
Maquinaria y Equipos FOB	\$1.034.199.486
Fletes e Internación	\$78.812.375
Montaje y Entrenamiento	\$55.114.900
Capital de trabajo	\$37.099.967
Imprevistos 10%	\$216.638.584
TOTAL	\$2.383.024.422

De manera complementaria a la planta cotizada en Ortizco, se realizó una serie de cotizaciones para distintos tamaños de plantas de la marca General Dies, dichas cotizaciones fueron realizadas a través de su página web [27], y posteriormente, verificadas a en base a información entregada por la empresa Biomass Technology.

Los costos fijos e inversiones fueron calculados proporcionalmente al costo total de la planta. En cuanto a los costos variables, estos fueron calculados y adaptados en forma proporcional al producto final.

Dado que el proceso de secado utilizando biomasa húmeda conlleva a un mayor deterioro de las máquinas, se consideró un 5% adicional en términos de mantención de equipos, lo cual para las líneas a continuación se considera como un 10% de la inversión en equipos y 2% del total de la inversión en terrenos y construcciones.

Tabla 46: Inversión línea General Dies con capacidad 1,5 [ton/h]

	CLP\$
Terreno y Construcciones	961.159.112
Maquinaria y Equipos FOB	438.813.700
Fletes e Internación	65.822.055
Montaje y Entrenamiento	55.132.012
Capital de trabajo	37.099.967
Imprevistos 10%	155.802.685
Total	1.713.829.530

Tabla 47: Inversión línea General Dies con capacidad 2,5 [ton/h]

	CLP\$
Terreno y Construcciones	1.542.935.596
Maquinaria y Equipos FOB	704.421.640
Fletes e Internación	105.663.246
Montaje y Entrenamiento	88.502.666
Capital de trabajo	59.556.070
Imprevistos 10%	250.107.922
Total	2.751.187.140

Tabla 48: : Inversión línea General Dies con capacidad 4 [ton/h]

	CLP\$
Terreno y Construcciones	1.858.805.506
Maquinaria y Equipos FOB	704.421.640
Fletes e Internación	105.663.246
Montaje y Entrenamiento	106.620.940
Capital de trabajo	71.748.394
Imprevistos 10%	284.725.973
Total	3.131.985.699

La principal diferencia entre las líneas recién descritas y el caso base es el proceso de secado, el cual, basándose en la información entregada por Miguel Canale, se puede llevar a cabo utilizando el mismo aserrín húmedo como combustible en el proceso de secado presente en sus líneas de producción. El consumo de aserrín requerido para el secado, corresponde a 1/3 del producto que se quiera secar, por lo que los consumos de aserrín para las plantas recién descritas sería el siguiente:

Tabla 49: Consumo líneas General Dies

Capacidad Planta [ton/h]	1,5	2,5	4
Volumen ventas pellets [ton/año]	5.702	9.504	15.206
Aserrín consumido para fabricación [toneladas]	5.988	9.979	15.967
Costo asociado a la materia prima [CLP\$]	44.349.560	73.915.934	118.265.495
Aserrín consumido para secado [toneladas]	1.996	3.326	5.322
Costo asociado al secado [CLP\$]	14.783.186	24.638.644	39.421.831

- **Depreciación:**

Se considerará dos casos, el primero corresponde a la depreciación financiera, en la que se considera un valor residual de 15% después de 7 años en el caso de la maquinaria de producción y 20 años para las construcciones. En el caso del capital de trabajo y terrenos, se consideran sin depreciación.

Tabla 50: Depreciación Financiera [CLP\$]

	Inversión	Año						Valor residual
		1	2	3	4	5	6	
Maquinaria producción	1.168.126.760	141.843.964	141.843.964	141.843.964	141.843.964	141.843.964	141.843.964	317.062.978
Construcciones	696.619.907	29.606.346	29.606.346	29.606.346	29.606.346	29.606.346	29.606.346	518.981.830
Terrenos	264.539.205	-	-	-	-	-	-	264.539.205
Capital de trabajo	37.099.967							37.099.967
Total	2.166.385.839	171.450.310	171.450.310	171.450.310	171.450.310	171.450.310	171.450.310	1.137.683.980

El segundo caso a considerar es la depreciación acelerada tributaria, en la cual el valor residual de la maquinaria y construcción es 0 luego de 6 años.

Tabla 51: Depreciación acelerada tributaria

	Inversión	Año						Valor residual
		1	2	3	4	5	6	
Maquinaria producción	1.168.126.760	194.687.793	194.687.793	194.687.793	194.687.793	194.687.793	194.687.793	-
Construcciones	696.619.907	116.103.318	116.103.318	116.103.318	116.103.318	116.103.318	116.103.318	-
Terrenos	264.539.205	-	-	-	-	-	-	264.539.205
Capital de trabajo	37.099.967							37.099.967
Total	2.166.385.839	310.791.111	310.791.111	310.791.111	310.791.111	310.791.111	310.791.111	301.639.172

- **Flujo neto operacional:**

Considerando una producción anual de 4.368 toneladas de pellets para el primer año (80% de capacidad de producción), 5.460 toneladas para los años siguientes, un precio de venta de \$130 por tonelada de pellet y un impuesto a la renta de 27% debido a la reforma tributaria que se hará efectiva desde el año 2017 en Chile, a continuación, se presenta el flujo neto operacional.

Tabla 52: Flujo neto operacional caso base

Año	1	2	3	4	5	6
Nivel de producción	80%	100%	100%	100%	100%	100%
Volumen ventas pellets [ton/año]	4.368	5.460	5.460	5.460	5.460	5.460
Ingresos por venta [CLP\$]	567.840.000	709.800.000	709.800.000	709.800.000	709.800.000	709.800.000
Costos operacionales [CLP\$]						
Materia prima	-33.971.465	-42.464.331	-42.464.331	-42.464.331	-42.464.331	-42.464.331
Salarios y Costos personal	-55.200.000	-55.200.000	-55.200.000	-55.200.000	-55.200.000	-55.200.000
Energía eléctrica	-63.360.000	-79.200.000	-79.200.000	-79.200.000	-79.200.000	-79.200.000
Energía térmica	-62.853.120	-78.566.400	-78.566.400	-78.566.400	-78.566.400	-78.566.400
Mantenimiento y reparaciones	-47.172.725	-58.965.907	-58.965.907	-58.965.907	-58.965.907	-58.965.907
Otros gastos [CLP\$]						
Depreciación acelerada	-310.791.111	-310.791.111	-310.791.111	-310.791.111	-310.791.111	-310.791.111
Resultado Operacional	305.282.690	395.403.362	395.403.362	395.403.362	395.403.362	395.403.362
Resultado marginal	305.282.690	395.403.362	395.403.362	395.403.362	395.403.362	395.403.362
Impuesto renta	82.426.326	106.758.908	106.758.908	106.758.908	106.758.908	106.758.908
Resultado después de impuestos	222.856.364	288.644.454	288.644.454	288.644.454	288.644.454	288.644.454
Depreciaciones	310.791.111	310.791.111	310.791.111	310.791.111	310.791.111	310.791.111
Flujo neto [CLP\$]	533.647.475	599.435.566	599.435.566	599.435.566	599.435.566	599.435.566

Lo anterior queda resumido en la siguiente evaluación económica, en donde se muestra la tasa interna de retorno y el valor presente neto con una tasa de descuento igual a 15%.

Tabla 53: Evaluación económica caso base

Año	0	1	2	3	4	5	6
Inversión inicial [CLP\$]	-2.383.024.422						
Flujo neto operacional [CLP\$]		533.647.475	599.435.566	599.435.566	599.435.566	599.435.566	599.435.566
Valor residual [CLP\$]							301.639.172
Flujo neto de fondos [CLP\$]	-2.383.024.422	533.647.475	599.435.566	599.435.566	599.435.566	599.435.566	901.074.738
Tasa interna de retorno				14,40%			
Valor presente neto (15%) [CLP\$]				-41.270.996			

6.1. Análisis de sensibilidad

Para cuantificar el impacto de algunas variables frente al proyecto se realizará un análisis considerando una variación porcentual de las variables precio del aserrín, precio del solar, precio del euro y precio del producto termino. A continuación, se muestran los valores del VAN y la tasa de retorno obtenidas en cada escenario.

- **Variación en el precio del aserrín.**

Dada la variación de precios en el mercado del aserrín chileno, a continuación, se realizó un análisis de sensibilidad considerando los precios mostrados en la “Tabla 9: Precio promedio [\$/m-e] de aserrín según región puesto en destino”

Tabla 54: Análisis de sensibilidad, variación en el precio del aserrín

Precio Aserrín			
Variación (%)	Valor	VAN	TIR
35%	9963	-80.031.817	13,83%
25%	9259	-69.355.910	13,98%
15%	8519	-58.134.076	14,15%
0%	7407	-41.270.996	14,40%
-56%	3237	21.965.554	15,32%
-60%	2963	26.120.666	15,38%
-60%	2926	26.681.758	15,39%

- **Variación en el tipo de cambio.**

Debido al origen extranjero de la planta de producción, a continuación, se mostrará el efecto tanto de la variación del dólar como del euro en la rentabilidad de la planta.

Tabla 55: Análisis de sensibilidad

Precio del dólar			
Variación (%)	Valor	VAN	TIR
-25%	518	200.673	15,00%
-20%	552	-8.093.661	14,88%
-15%	587	-16.387.995	14,76%
-10%	621	-24.682.329	14,63%
-5%	656	-32.976.662	14,51%
0%	690	-41.270.996	14,40%
5%	725	-49.565.330	14,28%
10%	797	-66.983.431	14,04%
15%	916	-95.723.297	13,65%
20%	1100	-139.791.092	13,08%
25%	1375	-205.892.785	12,28%

Tabla 56: Análisis de sensibilidad

Precio del euro			
Variación (%)	Valor	VAN	TIR
-25%	580	53.389.253	15,84%
-20%	618	34.457.203	15,53%
-15%	657	15.525.153	15,24%
-10%	696	-3.406.897	14,95%
-5%	734	-22.338.946	14,67%
0%	773	-41.270.996	14,40%
5%	812	-60.203.046	14,13%
10%	850	-79.135.095	13,87%
15%	889	-98.067.145	13,62%
20%	928	-116.999.195	13,37%
25%	966	-135.931.245	13,13%

- **Variación en el precio de venta.**

La variación en el precio de venta consideró los valores para calefacción de los productos sustitutos del pellet, mostrados en la sección **Productos sustitutos**. Dichos valores muestran el costo total para calefacción utilizado en residencias chilenas promedios, por lo que, para efectos del presente análisis, se utilizó un valor proporcional a cada

combustible para calcular el precio que tendría el kilogramo de pellet para igualar dicho gasto en cada hogar³⁶.

Tabla 57: Análisis de sensibilidad

Precio producto terminado			
Variación (%)	Valor	VAN	TIR
668%	999.000	12.342.671.865	139,46%
134%	304.000	2.438.367.736	45,82%
113%	277.000	2.053.596.208	41,40%
72%	223.000	1.284.053.154	32,17%
29%	168.000	500.259.302	22,02%
0%	130.000	-41.270.996	14,40%
-5%	123.000	-141.026.577	12,92%

Considerando el caso base, en el cual, la planta tiene una capacidad de producción limitada, el precio de venta para que dicha línea tenga un valor actual neto positivo es de CLP\$150.000 por tonelada de pellet, equivalente a CLP\$150 el Kilo. Sumado a lo anterior, es importante resaltar que la variación en el precio de venta implica integrar la comercialización y distribución del producto terminado, costos que no están considerados en el presente análisis. Si se considera la venta a distribuidores, la variación del precio por tonelada de pellet tomando como base el valor CLP\$130.000 por tonelada, queda reflejado en la siguiente tabla:

Tabla 58: Análisis de sensibilidad

Precio producto terminado			
Variación (%)	Valor	VAN	TIR
-25%	97.500	-504.421.909	7,30%
-20%	104.000	-411.791.726	8,77%
-15%	110.500	-319.161.544	10,21%
-10%	117.000	-226.531.361	11,63%
-5%	123.500	-133.901.179	13,03%
0%	130.000	-41.270.996	14,40%
5%	136.500	51.359.187	15,75%
10%	143.000	143.989.369	17,08%
15%	149.500	236.619.552	18,39%
20%	156.000	329.249.734	19,68%
25%	162.500	421.879.917	20,96%

³⁶ Los valores utilizados consideraron el promedio de los costos asociados a cada combustible en las ciudades de Rancagua, Curicó, Talca, Chillán, Concepción, Los Ángeles, Temuco, Osorno, Valdivia y Coyhaique.

- **Variación en el proceso de secado**

En la Tabla 59: Comparación VAN y TIR en variación del proceso de secado Tabla 59 se muestra la variación en la rentabilidad al utilizar dos procesos de secado distintos, los cuales difieren principalmente en el costo de inversión inicial del equipo y el costo variable asociado a secar la materia prima.

Tabla 59: Comparación VAN y TIR en variación del proceso de secado

	VAN	TIR
Caldera uso petróleo	\$-266.018.519	10,90%
Caldera uso biomasa	\$-41.388.556	14,39%

Sumado a lo anterior, se analizó el caso en donde se consideró el supuesto de disponibilidad de aserrín seco para la producción, por lo que la inversión del equipo de secado y el costo variable asociado al mismo proceso son nulos. Dada la falta de disponibilidad de aserrín seco en el mercado nacional, se definió el precio de materia prima a utilizar como el doble del precio cotizado para aserrín húmedo. En este caso, el precio de materia prima a utilizar corresponde a CLP\$14.814.

El resultado de lo recién expuesto queda reflejado en los siguientes valores:

Tabla 60: VAN y TIR para línea sin proceso de secado

	VAN	TIR
Línea con proceso de secado	\$-41.388.556	14,39%
Línea sin proceso de secado	\$219.252.333	18,57%

- **Variación en la capacidad de producción de la planta**

Tabla 61: Rentabilidad para distintas líneas de producción

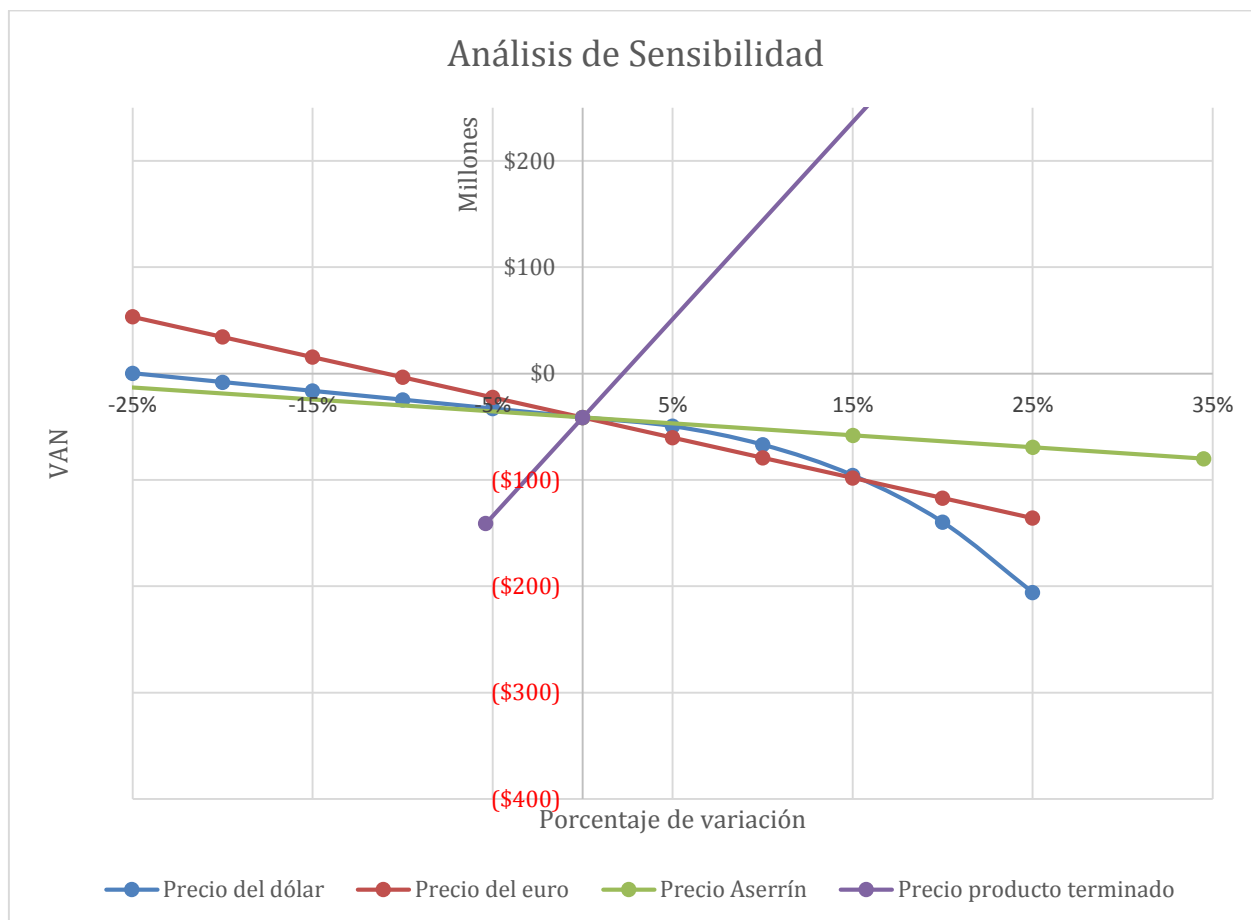
Capacidad planta [ton/h]	1,5	2,5	4
Tasa interna de retorno	29%	22%	33%
Valor presente neto (15%)	\$ 714.513.106	\$ 561.845.394	\$ 1.713.415.243

Analizando en detalle las cotizaciones realizadas por General Dies, se puede observar que la inversión necesaria para una planta con capacidad de 2,5 [ton/h] tiene el mismo orden de magnitud en algunos procesos que la planta de 4 [ton/h], lo anterior se debe a la subutilización de maquinaria en la producción, lo cual disminuye al aumentar la producción a 4 [ton/h] causando un aumento significativo en el retorno del proyecto.

Razón por la cual la rentabilidad de la planta con capacidad de 1,5 [ton/h] es mayor a la de 2,5 [ton/h], ya que no existe subutilización de maquinaria en sus procesos.

- **Resumen análisis caso base**

El resumen de la información mostrada anteriormente se presenta a continuación, en donde se considera los principales análisis desarrollados para el caso base.



La siguiente sección tiene por finalidad definir de manera concreta todas las recomendaciones y propuestas que surgieron al momento de realizar el estudio con sus respectivos análisis.

7. Propuesta para la localización de la planta

Como se mencionó anteriormente, la rentabilidad de una planta de pellets es afectada de forma considerable por los costos asociados al transporte de la materia prima debido a su baja densidad. Por lo que a continuación, se harán una serie de recomendaciones y variables a considerar al momento de decidir la ubicación de la planta productiva.

Para las propuestas de ubicación de la planta, se considerarán las distancias promedios presentes en mercados desarrollados en esta industria³⁷, se tomará como supuesto que las distancias promedio están optimizadas en su eficiencia.

Debido a su baja densidad, los costos de transporte asociados a la materia prima hacia la planta deben ser considerados prioritarios al momento de decidir la ubicación de la línea de producción. Por lo que la ubicación de la planta con respecto al proveedor debe ser considerado como el factor crítico en éste análisis.

Ubicación de la planta con respecto al proveedor

Como se mencionó anteriormente en la sección 3.1 del presente informe, la distancia promedio desde los aserraderos hacia las plantas de producción en Suecia es de 65 km. En el caso de Canadá, el aserrín es transportado a vía camión en un rango de 50 – 75 [km].

Se recomienda que la planta se ubique lo más cercano posible al proveedor de materia prima con objetivo de reducir los costos de transporte de biomasa con baja densidad. Considerando que el mercado de pellets en los países recién nombrados tiene un mayor desarrollo, la logística relacionada con el proceso productivo se considerará eficiente y optimizada. En base a lo anterior, se debe considerar un límite máximo de 65 [km] desde el proveedor (o proveedores) hacia la planta de producción.

Propuesta de ubicación de la planta con respecto a la demanda

Dando como prioridad la ubicación de la planta con respecto a los proveedores, se debe considerar también la localización de esta con respecto a los consumidores finales.

La siguiente tabla muestra los valores promedios de las distancias cubiertas en mercados con mayor trayectoria temporal en donde se concentra el mayor consumo de pellets consumo a nivel mundial.

³⁷ Dichos mercados están descritos en la sección

Tabla 62: Distancia de transporte promedio de pellets en mercados desarrollados

Transporte de Pellets			
País	Desde	Hacia	Valor Promedio
Canadá	Planta de producción	Mercado local	220 [km]
Suecia	Planta de producción	Pequeños consumidores a granel	110 [km]
Italia	Planta de productora [formato de venta: bolsas pequeñas]	Distribuidor	200 [km]
Italia	Distribuidores a través de autos privados	Consumidores finales	93 [km]
Mercado a granel desde Canadá a Países Bajos			
Canadá	Planta de producción vía tren	Puerto exportador	781 [km]
Canadá	Puerto Canadá	Puerto destino a través de barco	16.500 [km]
			40.000 [Ton]
Irlanda	Puerto fluvial	Puerto fluvial	100 [km]
			4.000 [Ton]

Fuente: EUBIA, 2009

Dependiendo de la distancia desde la fábrica hacia el consumidor, se considerarán dos opciones:

En este caso, se recomienda que la distancia recorrida por el camión no superar los 300 [km]. Este análisis considera tanto el mercado industrial, residencial como también un proveedor como consumidor final.

El transporte vía ferroviario es altamente recomendado para el traslado masivo de pellets de madera en grandes distancias, por lo que, si se apunta a un mercado industrial, se recomienda ubicar la planta de tal forma que la distancia a las vías ferroviarias no supere los 100 [km].

En el caso de no tener proveedores de aserrín identificados, se recomienda realizar la búsqueda en la zona centro sur del país, en donde se concentra tanto el mayor consumo de biocombustible para calefacción (principal uso del pellet a nivel mundial), como también, la mayor concentración de recursos forestales disponibles. Dicha información se detalla en la sección “Antecedentes Económicos”.

8. Conclusiones

La importancia que ha tomado el pellet a nivel mundial cada vez tiene mayor peso en la generación de energía, la evidencia muestra que, en los últimos años, Chile ha seguido esa tendencia, por lo que se espera que el mercado de pellets en el país tenga un gran crecimiento en los próximos años a medida que éste se acerque a estados de desarrollo como es el caso de Europa.

Los problemas de contaminación causados por el uso de leña para calefacción es una de las principales razones que impulsan al Gobierno a crear planes que limiten el uso de dicho combustible y potencien el uso del pellet como solución a la contaminación.

La regulación y nuevos programas de recambio de calefactores en ciertas ciudades como: Los Ángeles, Temuco, Chillan harán del mercado del pellet muy atractivo en los próximos años, en donde se espera que el uso de este combustible sea cada día más común.

El interés por parte del Gobierno en el pellet de madera puede ser explicado por las ventajas que tiene este frente a otros combustibles para calefacción, si se considera el mercado de los combustibles forestales, el pellet sobresale frente a sus competidores, principalmente, por su facilidad de uso y factores medioambientales.

Los precios en los calefactores podrían ser una limitante para el consumo de pellets dada su alto costo en comparación a otros calefactores. Pese a lo anterior, se espera que mientras más conocido sea el pellet, mayores restricciones sean puestas por el Gobierno al uso de leña y más programa de recambios sean implementados, dicha limitante no será un problema para el consumo futuro del biocombustible.

El proceso productivo de pellets en Chile es altamente factible considerando que las tecnologías de mercados más desarrollados pueden ser importadas al país. Sumado a lo anterior, y dado que no existe regulación en la producción de pellets de madera en Chile, hoy en día existen diversos tipos de pellets en el mercado, los cuales presentan grandes diferencias en su calidad. Se espera que cuando el mercado esté más desarrollado, los consumidores tiendan a elegir pellets con mejor calidad, por lo que se recomienda invertir en maquinaria que cumpla la normativa de calidad europea ENPlus, la cual asegura un buen producto.

El principal factor de éxito de una planta de producción es la materia prima a utilizar, ya que existe una gran diferencia entre la utilización de material seco y aserrín húmedo en cuanto a los costos de producción.

En el caso de no disponer de aserrín seco para la elaboración del pellet, el proceso de secado es fundamental en la rentabilidad de la planta, lo cual se ve reflejado en las diferencias entre distintos procesos de secado, siendo el más rentable es el que utiliza biomasa para secar, dicha diferencia explica la utilización de aserrín seco por parte de las forestales, ya que es una alternativa mucho más atractiva que otros combustibles.

Dado que el uso de biomasa con altos niveles de humedad causa problemas medioambientales como también mayores costos de mantención en equipos y transporte, las empresas forestales utilizan el aserrín seco en sus procesos, lo cual explica la poca disponibilidad de dicho material (aserrín seco). Lo anterior da a las empresas presentes en el mercado actual, una gran ventaja competitiva frente a nuevos competidores, la cual corresponde a la utilización de aserrín seco en sus procesos, lo cual provoca una fuerte diferencia en los costos de producción si se compara con procesos en donde se utilice aserrín húmedo.

La ubicación de la planta es fundamental en la factibilidad del negocio, ya que el costo asociado al transporte de aserrín limita la obtención de materia prima debido a la dificultad de encontrar proveedores con disponibilidad de producto para una planta de escala considerable. Para distancias grandes es recomendable la utilización de trenes, siempre y cuando, la escala a producir compense las inversiones realizadas para utilizar dicho medio de transporte.

En cuanto a las maquinarias a utilizar, a pesar de presentar costos más bajos, se recomienda fuertemente no utilizar líneas de procedencia China debido al riesgo que tienen éstas de no funcionar.

Los dos costos más relevantes para la implementación de la planta productiva es el proceso de secado y los terrenos e infraestructuras.

El proceso de secado consume una gran cantidad de energía térmica, lo cual se ve reflejado en un aumento del costo de producción del pellet. Dado que dicho biocombustible apunta a un mercado masivo, los costos variables juegan un rol fundamental en la rentabilidad del proyecto. Por lo que se debe dar prioridad a líneas con bajo costo asociado al proceso de secado y que, a su vez, cumplan con las normativas presentes en el mercado europeo. Como es el caso de las líneas General Dies.

Dado el poco desarrollo que tiene el mercado de pellet en Chile, se puede visualizar otra oportunidad de negocio, la cual es la creación de una institución que focalice los esfuerzos de los distintos agentes interesados en el mercado del biocombustible, potenciando así, el consumo del combustible de origen forestal. Sumado a lo anterior, y dado que hoy no existe normativa para los pellets en Chile, se puede visualizar una

oportunidad de negocio asociada a la certificación de biocombustibles, siendo el Gobierno el principal interesado debido a su interés en la eficiencia de los combustibles presentes en el mercado actual.

Considerando los análisis de sensibilidad realizados, el precio de venta juega un rol fundamental en la rentabilidad de la planta, por lo que se recomienda integrar el proceso de comercialización hacia el sector residencial en la planta de producción, lo anterior debido a que una cadena logística integrada puede resultar mucho más rentable que la planta en sí.

Una planta de pequeña escala no presenta una gran rentabilidad si en su proceso se incurren a altos costos asociados al proceso de secado, es por ello que, el uso de biomasa en dicho proceso disminuye considerablemente los costos asociados al secado, lo cual provoca un aumento significativo en la rentabilidad de la planta. Sumado a lo anterior, se debe considerar que el uso de biomasa en el secado puede tener consecuencias ambientales negativas, como también mayores costos asociados a la reparación de equipos. Otro punto importante a resaltar es que las escalas de producción mayores corren el riesgo de entrar en una sub utilización de la planta debido al poco desarrollo del mercado chileno.

En conclusión, el interés mostrado por parte del gobierno por el pellet de madera, hacen del negocio del pellet de madera una alternativa altamente atractiva a largo plazo. Por lo que, si se logra identificar un proveedor de aserrín con bajo niveles de humedad, es sumamente recomendado implementar una planta con dicha materia prima. En el caso de no disponer de aserrín seco, el uso de materia prima con mayores niveles de humedad se hace rentable siempre y cuando el proceso de fabricación tenga un bajo costo variable asociado al proceso de secado, en donde se recomienda equipos que utilicen biomasa para la generación de calor.

Bibliografía

- [1] Ministerio del Medio Ambiente, Gobierno de Chile «Planes de Descontaminación Atmosférica, Estrategia 2014 - 2018», 28 Abril 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.mma.gob.cl/1304/articles-56174_PlanesDescontaminacionAtmosEstrategia_2014_2018.pdf> [Fecha de consulta: 15 Junio 2015].
- [2] Superintendencia del Medio Ambiente, [En línea]. Disponible: <<http://www.sma.gob.cl/index.php/temuco-y-padre-las-casas>> [Fecha de consulta: 2015 Junio 15].
- [3] Unidad de Desarrollo Tecnológico, Universidad de Concepción, «Producción de pellets en Chile y tecnologías de combustión», [En línea]. Disponible: <http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55266_PresentacionPellets.pdf>. [Fecha de consulta: 2015 Junio 15].
- [4] Malebrán C., Ministerio de Energía. «Instrumentos para la promoción de las ERNC y de la Biomasa, Centro de Energías Renovables, Octubre 2013. [En línea]. Disponible: http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55266_CER_Pellets_Temuco.pdf. [Fecha de consulta: 22 Agosto 2015].
- [5] Departamento de Economía, Universidad de Concepción «Análisis de la cadena de producción y comercialización del sector forestal chileno: Estructura, agentes y prácticas,» Concepción, 2009.
- [6] Ministerio de Energía. “Buen uso de la Leña”. [En línea]. Disponible: <http://www.mma.gob.cl/1304/articles-54981_BuenUsoLena082013.pdf>. [Fecha de consulta: 15 Junio 2015].
- [7] G. Gauthier, «Overview of the European Pellet Market,» Eskilstuna, 2015.
- [8] S. Sénéchal, G. Grassi y EUBIA, «Logistic management of wood pellets: Data collection on transportation, storage and delivery management,» Brussels, Belgium, 2009.
- [9] Revista Lignum, «Bosque, Madera y Tecnología,» 20 Julio 2014. [En línea]. Disponible: <<http://www.lignum.cl/2014/07/21/el-boom-del-pellet-para-calefaccion-demanda-se-duplica-en-un-ano-y-productores-logran-abastecer-el-mercado/>>. [Fecha de consulta: 15 Julio 2015].
- [10] Instituto Forestal, Comisión Nacional de Energía, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) «Disponibilidad de Residuos Madereros,» 2007.
- [11] Ministerio del Medio Ambiente, «Guía de calefacción sustentable,» [En línea]. Disponible: www.calefaccionsustentable.cl. [Fecha de consulta: 30 Agosto 2015].
- [12] M. Fernández G., «Planes de Descontaminación en Chile: El pellet como alternativa para reducir emisiones de MP2,5 en ciudades que usan leña,» Temuco, 2013.

- [13] Ministerio del Medio Ambiente, «Calefactores Certificados,» [En línea]. Disponible: <http://alertas.mma.gob.cl/calectores-certificados/>. [Fecha de consulta: 12 Agosto 2015].
- [14] Superintendencia de Electricidad y Combustible, «Preguntas Frecuentes,» [En línea]. Disponible: http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,4841784&_dad=portal&_schema=P ORTAL. [Fecha de consulta: 2015 Agosto 13].
- [15] Seremi del Medio Ambiente, Región Metropolitana « Plan operacional para la gestión de episodios críticos de contaminación atmosférica para material particulado respirable (MP10) en la Región Metropolitana”, 2012. [En línea]. Disponible: http://www.sinia.cl/1292/articles-52013_PlanOperacionalGECPM10_rm.pdf. [Fecha de consulta: 17 Agosto 2015].
- [16] Seremi del Medio Ambiente, Región de la Araucanía. “Borrador N°3 Anteproyecto del plan de descontaminación atmosférica para material particulado fino - MP2” 6 Febrero 2014. [En línea]. Disponible: <http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2014/proyectos/0287-0333.pdf> . [Fecha de consulta: 30 Agosto 2015].
- [17] Ministro del Medio Ambiente. “Aprueba anteproyecto de plan de descontaminación atmosférica por MP10,” , [En línea]. Disponible: http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2015/proyectos/Res_1318_2014_A nteproyecto_PDA_T-M_folio_539-586.pdf . [Fecha de consulta: 30 Agosto 2015].
- [18] E. Lobos, «Subsidio para el recambio de calefactores: qué debes saber,» 7 Mayo 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.24horas.cl/nacional/subsidio-para-el-recambio-de-calectores-que-debes-saber-1218186> . [Fecha de consulta: 30 Agosto 2015].
- [19] J. Morgado, 2 Mayo 2014. [En línea]. Disponible: <http://www.24horas.cl/nacional/gobierno-pone-fecha-para-fin-de-calectores-contaminantes-1210737> . [Fecha de consulta: 30 Agosto 2015].
- [20] C. Segura, «Ministerio del Medio Ambiente,» Universidad de Concepción, Unidad de desarrollo Tecnológico , [En línea]. Disponible: http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55266_PresentacionPellets.pdf. [Fecha de consulta: 15 Julio 2015].
- [21] J. Houck y D. Broderick, «PM2.5 Emission Reduction Benefits of Replacing Conventional Uncertified,» Arlington, 2005.
- [22] Nuñez, Natalia. «EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLE SÓLIDO A PARTIR DE BIOMASA FORESTAL EN LA REGIÓN DE LOS LAGOS,» Santiago, 2014.
- [23] Fundación para la Transferencia Tecnológica, «Alternativas tecnológicas para calefacción residencial con energías renovables no convencionales aplicables a la realidad chilena,» Santiago, 2014.
- [24] E. Contreras y C. Diez, DISEÑO Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS. UN ENFOQUE INTEGRADO, Primera edición ed., vol. I, J. Sáez, Ed., Santiago, Región Metropolitana: JC Sáez Editor SpA., 2015, p. 66.

- [25] Chile Ambiente Corporacion, «Estudio de "Análisis del Potencial Estratégico de la Leña en la Matriz Energética Chilena".», 2008.
- [26] APROPELLETS , «Guía básica del uso del pellet de madera con fines térmicos.», 2013.
- [27] General Dies, «Price quote online for wood plants,» General Dies, 20 Junio 2015. [En línea]. Disponible: <http://www.generaldies.com/index.php?lang=eng&blk=preventivatore>. [Fecha de consulta: 20 Junio 2015].
- [28] Sistema Nacional de Informacion Ambiental, «Características Material Particulado MP2,5,» [En línea]. Disponible: http://www.sinia.cl/1292/articles-54698_folio_0097_0117.pdf. [Fecha de consulta: 5 Agosto 2015].
- [29] C. Muñoz, C. Yañez, J. Medina y S. Sinclair, «MAPS Chile: Proyección Escenario Línea Tendencial 2012 y Escenarios de Mitigación del Sector Comercial, Público y Residencial,» Chile, 2014.
- [30] Ministerio del Medio Ambiente. “Aprueba anteproyecto del plan de prevención y descontaminación atmosférica por MP2”. 30 Enero 2015. [En línea]. Disponible: http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2015/proyectos/Res_Ex._N50_Aprueba_Anteproyecto_30.01.15.pdf. [Fecha de consulta: 17 Agosto 2015].

Anexos.

Anexo A: Antecedentes Económicos

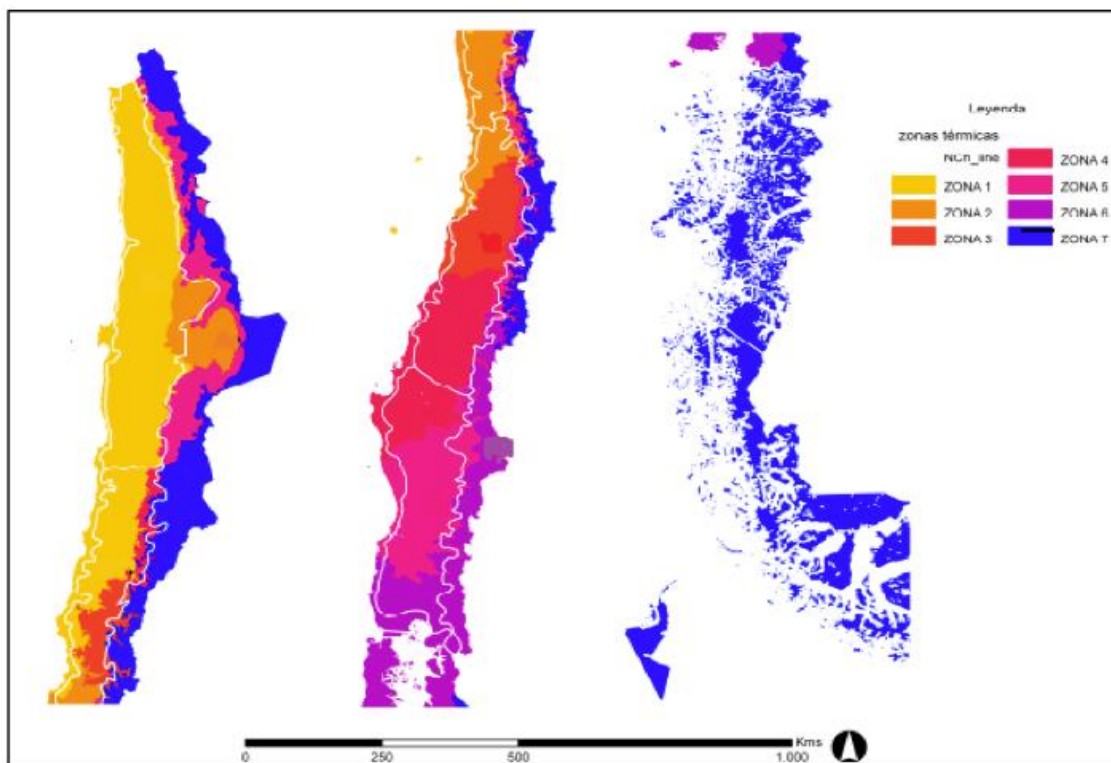
Anexo A1: Zona térmica a la que pertenece la vivienda

Debido a la amplia gama de latitudes que presenta la geografía chilena, existe una diversa cantidad de climas que van desde subtropicales, en el extremo norte, a climas muy fríos como los del extremo sur. De acuerdo al artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, el país se encuentra dividido en siete zonas térmicas de acuerdo a criterio de los Grados Día de Calefacción anuales, en las diferentes regiones del país. Se puede ver:

- Zona 1: menor a 500 grados día anuales
- Zona 2: entre 500 y 750 grados día anuales
- Zona 3: entre 750 y 1,000 grados día anuales
- Zona 4: entre 1,000 y 1,250 grados día anuales
- Zona 5: entre 1,250 y 1,500 grados día anuales
- Zona 6: entre 1,500 y 2,000 grados día anuales
- Zona 7: más de 2,000 grados día anuales.

Las regiones consideradas en cada zona térmica, se pueden observar en la siguiente

Ilustración 17: Zonas térmicas y su distribución en el país



Debido a la similitud presente entre algunas zonas geográficas del país, se agruparán las zonas en segmentos con rango similar grados-día. De esta manera, las zonas quedarían agrupadas de las siguientes formas:

- Zona A (Norte-Centro Norte): compuesta por las zonas térmicas 1 y 2, y presenta un comportamiento menor 750° día-anales.

Regiones asociadas a esta zona: XV, I, II, III, IV y V.

- Zona B (Centro Sur – Sur): compuesto por las zonas térmicas 3, 4 y 5, y presenta un comportamiento entre 750° y 1500° día-anales.

Regiones asociadas a esta zona: XIII (RM), VI, VII, VIII, IX y XIV.

- Zona C (Sur -Austral – Cordillera): compuesto por las zonas térmicas 6 y 7, y presenta un comportamiento mayor a 1500° día-anales.

Regiones asociadas a esta zona: X, XI, XII y Antártica de Chile.

Anexo B: Antecedentes Legales

Anexo B1: Material Particulado

Es una mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire, de distintas formas y tamaños, y cuya composición química es variable, dependiendo de las fuentes emisoras que lo originen³⁸.

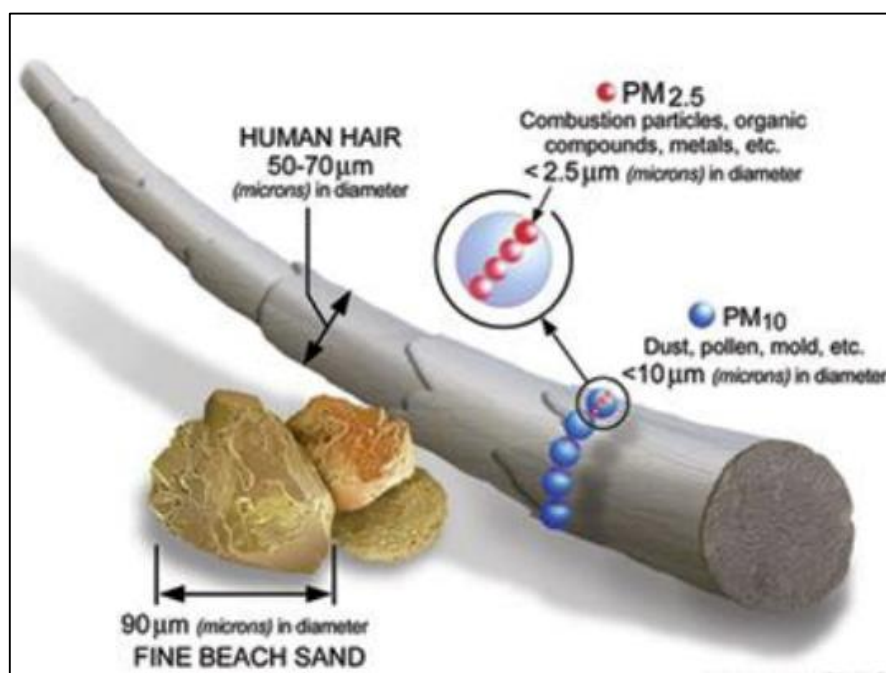
El diámetro aerodinámico de las partículas es una forma de medir su tamaño, y corresponde al diámetro de una partícula esférica de densidad unitaria, que tiene la misma velocidad de caída de la partícula.

Según lo anterior, se puede subdividir al Material Particulado (MP) en:

- MP₁₀: Todas las partículas menores a 10 micrómetros
- MP_{2,5}: Todas las partículas menores a 2,5 micrómetros
- Fracción gruesa del MP₁₀: Partículas entre 2,5 y 10 micrones.

A modo de ejemplo, en la Ilustración 17 se presenta una comparación entre el tamaño del Material Particulado (2,5 y 10), un grano de arena y un cabello humano [12].

Ilustración 18: Orden de magnitud tamaño Material Particulado



³⁸ La información presentada a continuación está basado en información presentada por el Sistema Nacional de Información Ambiental, Gobierno de Chile [28]

EL MP_{2,5} primario se emite directamente a la atmósfera desde las fuentes emisoras, principalmente de las emisiones de combustión de combustibles fósiles y de biomasa, como también de procesos industriales.

En cuanto al origen de la fracción gruesa del MP₁₀, tiene como principio el polvo generado por abrasión o trituración mecánica en procesos mineros, agricultura, caminos sin pavimentar, construcción, demolición, polvo suspendido del suelo y de la industria, fuentes biológicas, aerosol marino y, por último, ceniza de la combustión.

Los efectos del MP_{2,5} en la población son diversos, dentro de los cuales están los siguientes:

- Enfermedades respiratorias
- Enfermedades cardiovasculares
- Aumento cáncer pulmonar
- Muertes prematuras
- Agravamiento del asma
- Irritación de ojos, nariz y garganta
- Disminución de la visibilidad
- Ensuciamiento y corrosión de materiales
- Efectos sobre la vegetación.

Anexo C: Antecedentes Técnicos

Anexo C1: Briquetas

Los métodos industriales de briqueteado datan de la segunda parte del siglo XIX. Desde entonces su uso ha estado ligado a períodos de escasez de combustible y a épocas de crisis. Durante la II Guerra Mundial su uso fue bastante extendido en Europa y Estados Unidos, al igual que en el tiempo de altos precios en los combustibles, como ocurre actualmente.

El proceso de elaboración de briquetas se basa en la máquina briqueteadora, la cual es responsable de la industrialización de su producción desde hace varios años en Europa, Estados Unidos, Canadá y algunos países latinoamericanos. Los pasos de transformación involucrados en el proceso productivo comprenden en primer lugar, la preparación de los residuos, a partir de la limpieza de impurezas y acondicionamiento de tamaño con trituradoras y molinos dependiendo de las características de la materia prima a utilizar para luego secarlos en un rango de humedad entre un 10 y 15%, requeridos por la prensa y la calidad esperada del producto, el cual se disgregará si el material usado está demasiado seco o demasiado húmedo.

Después de que el material está preparado, se procede al prensado de la biomasa en la briquetadora, la cual debe estar a 300° C y ejercer una presión de cerca de 1.200 [Kg/cm²] para que la lignina presente en los residuos forestales se licúe favoreciendo la aglomeración. Para ello, en primer lugar, la materia prima es enviada a una tolva que actúa como pulmón, regulando la entrada de aire a la prensa para evitar que la biomasa se atasque. Luego, con la ayuda de un tornillo de alimentación, la biomasa es descargada a una tasa continua para ingresar a la máquina de prensado, la cual está compuesta por una matriz agujereada y un grupo de rodillos giratorios los cuales aplican presión y calor para aglomerar las partículas del compuesto. La matriz es también la encargada de dar el diámetro al producto, según el modelo de briquetadora. Al salir de la matriz, un instrumento compuesto por cuchillas corta el material resultante según las medidas y la presentación deseada por el fabricante, siendo descargadas y transportadas por un dispositivo que evita que se quiebre.

Es importante destacar que, en el proceso de elaboración de briquetas con residuos madereros, el único aditivo permitido es el agua, dado que no se puede utilizar ningún aglomerante tóxico que ponga en riesgo la manipulación humana. Sin embargo, cuando las briquetas se fabrican con mezcla de residuos, pueden utilizarse aglomerantes en proporciones muy pequeñas para mejorar la cohesión de las partículas de biomasa y la generación de energía al momento de la combustión.

El desarrollo de esta industria movido por la alta demanda de biocombustibles sólidos, principalmente desde Europa, ha instalado la necesidad de estandarizar dichos productos. Es así como en Alemania, Suecia, Austria y Norteamérica, la fabricación y venta de briquetas está sujeta a reglamentaciones nacionales para asegurar la calidad del producto, además de un transporte, almacenamiento y comercialización eficientes.

El progreso de las múltiples iniciativas, adoptadas por los países miembros de la Unión Europea, dio paso al desarrollo de nuevas normas técnicas con criterios unificados y encabezados por parte del Comité Europeo de Normalización (CEN), como CEN/TS 14588 (2003) con la terminología, definiciones y descripciones de los biocombustibles sólidos, CEN/TS 14961 (2004) con las especificaciones de los biocombustibles sólidos, sus tipos y requisitos generales y la CEN/TS 15234 (2006) con el aseguramiento de la calidad de combustibles. Estas últimas dieron origen a la certificación ENPlus en el año 2011, la cual establece los parámetros técnicos para diferentes biocombustibles sólidos incluidas las briquetas.

A continuación se presenta las principales normas europeas para briquetas y pellets, dirigidas a todos los involucrados con la producción, compra, venta y utilización de estos productos.

Tabla 63: Principales normas europeas para la elaboración de pellets y briquetas

País	Norma	Característica
Austria	ÖNORM M 7135 (2000)	Especificaciones de los pellets y briquetas de madera con o sin corteza
	ÖNORM M 7135 (2000)	Requerimientos de calidad de la logística y transporte de los pellets de madera
	ÖNORM M 7135 (2000)	Requerimientos de calidad para el almacenamiento que realice el consumidor final de pellets de madera.
Suecia	SS 187120 (1994)	Especifica tres clases de pellets en función del tamaño y la cantidad de cenizas que generan.
Alemania	DIN 51731 (1996)	Especificaciones técnicas de pellets y briquetas
	DIN PLUS	Específica para pellets de gran calidad para calderas que sólo trabajan con pellets.
Italia	CTI R04/05	Establece los parámetros de calidad de los pellets de biomasa en función de su origen.

Fuente: Segura C., Universidad de Concepción, MMA

En base a lo anterior y al tipo de briquetas comercializadas de uso más común en Chile, se pueden definir las características expuestas en la siguiente tabla:

Tabla 64: Características briquetas de madera

Característica	Unidad	Valor
Poder Calorífico Inferior	[kcal/Kg]	4.179 – 4.557
Poder Calorífico Superior	[kcal/Kg]	4.500 – 5.000
Humedad	[% en peso]	<12
Densidad unitaria	Unitaria	[Kg/m ³]
	Aparente	
		1.110 – 1.300
		600 - 900
Cenizas e Impurezas	[% en peso]	2
Emisiones CO₂	[Kg gas/Kg combustible]	1,65
Valor Comercial	[\$CL/Kg]	120 - 200

Fuente: Fredes, 2014

Anexo C2: Normativa ENPlus Pellets



A continuación la Tabla 65, se presentan las especificaciones que deben cumplir los pellets según la normativa ENPlus:



Tabla 65: Especificaciones pellets según norma ENPlus

Propiedad	A1	A2	B
Dimensiones	Diámetro [mm]		6(±1)-8(±1)
	Largo [mm]		3,15 ≤ L ≤ 40
Humedad (% en peso)			≤10
Cenizas (% en peso)	≤0,7	≤1,5	≤0,3
Durabilidad (% en peso)		≥97,5	≥96,5
Polvo (% en peso)			<1
Agentes Aglomerantes (% en peso)			≤2
Densidad Aparente [Kg/m ³]			≥600
Poder Calorífico [MJ/Kg]	16,5≤Q≤19	16,3≤Q≤19	16≤Q≤19
Nitrógeno [mg/Kg]	≤0,3	≤0,5	≤1
Azufre [mg/Kg]		≤0,3	≤0,4
Cloro [mg/Kg]		≤0,02	≤0,03
Arsénico [mg/Kg]			≤1
Cadmio [mg/Kg]			≤0,5
Cromo [mg/Kg]			≤10
Cobre [mg/Kg]			≤10
Plomo [mg/Kg]			≤10
Mercurio [mg/Kg]			≤0,1
Níquel [mg/Kg]			≤10
Zinc [mg/Kg]			≤100

Anexo C: Factibilidad Técnica

Anexo C1: Formulario de cotización enviado a Ortizco

 <p>ATANKUS KAH, GOMAL & Co. Departamento de ventas 5 Districto de Lima 5 - 9 D-21465 Rumbak P.O. Box 1248 D-21452 Perú</p>	 <p>ORTIZCO S.A. E: Rimal 5083 - Huachipa Santiago - Chile Tel: (+56-21) 4385500 Fax: (+56-21) 4385555 www.ortizco.cl - ortizco@ortizco.cl</p>
<p>Questionario PRENSA</p>	
<p>1.- Identificación del Cliente:</p> <p>*Nombre Empresa (Razón Social): <u> x </u> Rut de la Empresa: <u> x </u> *Dirección / Ciudad / País: <u> x </u> *Teléfono & Fax: <u> x </u> Nombre Contacto & Cargo: <u> x </u> *E-mail: <u> x </u></p>	
<p>2.- Descripción del producto de entrada o materia prima:</p> <ul style="list-style-type: none"> - *Denominación tóxica: <u> x </u> producto de aserrao pino radiata con sierra huachra - Composición química: <u> x </u> - Valor pH: <u> x </u> - *Contenido de agua: <u>50</u> a <u>80</u> % - *Volumen o cantidad a procesar: <u>3100</u> m3 el mes (buendo) - Temperatura de roblamiento: <u> x </u> - Temperatura de inflamación: <u> x </u> - *Granulometría o tamaño de entrada: rango 1 a 3 mm 85%, > 3 mm 5%, (5 mm diámetro y 20 a 25 mm largo), < 1 mm 10 % - Densidad a granel: <u> x </u> - Prescripciones de almacenamiento, embalaje, eliminación: <u> x </u> - Instrucciones referente al manejo (p. ej. tóxico, peligros para la salud): <u> x </u> - El producto no debe ser puesto en contacto con las siguientes sustancias: <u> x </u> 	
<p>3.- Requerimientos al producto pelletizado:</p> <ul style="list-style-type: none"> - *Medidas deseadas de pellet: (diámetro, largo): <u>Diámetro</u> 8 mm , largo 3,15 a 40 mm - humedad final deseada en el producto pelletizado (% H₂O): <u> x </u> 6 a 10 % - temperatura máxima admisible durante la pelletización: <u> x </u> - aditivos posiblemente permitidos para la pelletización (agua, vapor, remedios de pelletización, etc.): <u> x </u> 	

	<p>4.- Requerimientos a la máquina:</p> <ul style="list-style-type: none"> - *Capacidad horaria deseada para el uso industrial: <u> x </u> 1500 Kg / hora - Diseño de la planta (p. ej. material oxidable, etc.): <u> x </u> No
<p>Adjuntar Lay Out Construcción o espacios disponibles. Estamos planeando una planta gaseada por lo que no hay restricciones. * Campos obligatorios de completar</p> <p>Si es posible favor acompañe este formulario con una fotografía del material a procesar</p>	
<p>Atentamente,</p> <p></p> <p>Ortizco S.A. Representante exclusivo A.Kah!</p>	

IP 52 para armarios de distribución
máx. 50 kA
VDE 0100, EN 60204-1
- sin identificación de los conductores -

- Corriente de cortocircuito:
- Construcción y diseño según:

Pintura:

- Estándar KAHL

22/06/17/14

Pts. CHI Descripción

EUR Precio unitario

Precio total



Página 4

Resumen de los precios

Grupo 1: Planta de Secado

01010	1	Tolva de recepción			
		- Suministro local por cliente -			
01020	3	Interruptor de nivel, tipo F K SI	347,00	1.041,	
01030	1	Equipo medidor de la humedad	17.060,00	17.060,	
01040	1	Rosca dosificadora, tipo SF D 250	12.000,00	12.000,	
01050	1	Secador de cinta, tipo GST 4010 - 02	269.650,00	269.650,	
01070	1	Rosca transportadora, tipo SF 400	7.850,00	7.850,	
01080	1	Sistema de descarga de producto para el servicio de derivación			
		- Suministro local por cliente -			
01090	1	Equipo medidor de la humedad	17.060,00	17.060,	
01100	1	Cambiator de calor	18.540,00	18.540,	
01110	1	Tuberías de alimentación Y de retorno			
		- Suministro local por cliente -			
01120	1	Ventilador radial, tipo RV 010 x 950	21.180,00	21.180,	
01150	1	Andamio de soporte			
		- Suministro local por cliente -			
01170	1	Conducho de escape de aire			
		- Suministro local por cliente -			
01190	1	Transportador de cinta hacia el pelletizado			
		- Suministro local por cliente -			
Total del grupo			364.381,		

Grupo 2: Planta de Pelletizado

02010	1	Depósito previo			
		- Suministro local por cliente -			
02020	1	Rosca dosificadora, tipo SF D 200	11.370,00	11.370,	
02030	1	Rosca mezcladora, tipo M 315	16.000,00	16.000,	
02040	1	Sistema dosificador para agua, tipo WD GLI 15	5.325,00	5.325,	
02050	1	Prensa granuladora, tipo matriz plana 36 - 780	77.870,00	77.870,	
02060	1	Accesorios para la prensa granuladora	9.255,00	9.255,	
02070	1	Accesorios para la prensa granuladora			
02080	1	Polipasto eléctrico de cadena con carretilla de polipasto	21.420,00	21.420,	
		- Suministro local por cliente -			
02090	1	Matriz plana - 6mm	2.705,00	2.705,	
02100	1	Transportador de cinta hacia enfriador			
		- Suministro local por cliente -			

Pkg.	Cntd.	Descripción	EUR: Precio unitario	Precio total
02110	1	Enfriador de contracorriente, tipo GK 14 14 R	23.180,00	23.180,00
02120	1	Chick'n, tipo OZ 700	2.720,00	2.720,00
02130	1	Esclusa de rueda celular, tipo SL 250	2.010,00	2.010,00
02140	1	Ventilador radial, tipo RV 031 x 0056	2.675,00	2.675,00
02150	1	Tubería de aire		
02160	1	Suministro local por cliente -		
02170	1	Criba vibradora, tipo SI V 600 x 1000	12.340,00	12.340,00
02180	1	Transportador posterior		
		- Suministro local por cliente -		
		- Suministro local por cliente -		
		- Suministro local por cliente -		
		Total del grupo		186.870,00

Grupo 3: Varios, Equipo Electrico

03010	1	Instalación eléctrica de mando y de regulación	44.600,00	44.600,00
03020	1	Sección de potencia		
		- Suministro local por cliente -		
03030	1	Material de instalación eléctrica		
		- Suministro local por cliente -		
		Total del grupo		44.600,00

Grupo 4: Equipo de seguridad

04010	1	Opcional: Precio adicional para medidas de protección contra explosiones Grupo 1		
		Precio unitario: 11.430,00 EUR		
		Opcional:		
04020	1	Precio adicional para medidas de protección contra explosiones Grupo 2		
		Precio unitario: 5.665,00 EUR		
04030	1	Instalación automática de aviso y extinción de	35.280,00	35.280,00
04040	1	chispas	8.135,00	8.135,00
		Planta para el aumento de presión para la		
		instalación de extinción		
04050	1	Instalación de extinción con agua de rociado	8.290,00	8.290,00
		Total del grupo		51.685,00

Grupo 5: Servicios

05020	1	Montaje		
		- Suministro local por cliente -		
05050	1			

Pkg.	Cntd.	Descripción	EUR: Precio unitario	Precio total
		Vigilancia de	62.000,00	62.000,00
		montaje,		
		puesta en	62.000,00	62.000,00
		marcha y		
		entrenamiento		
		Total del grupo		
		Resumen de los grupos		
		Grupo	Planta de Secado	
		Grupo	Planta de Peletizado	
		Grupo	Varios, Equipo Electrico	
		Grupo	Equipo de seguridad	
		Grupo	Servicios	
		Precio Total FOB Hamburgo		

Las siguientes posiciones no son incluidas:

- Diseño, suministro y erección del edificio necesario
- Edificio
- Navas de almacenamiento
- Trabajos de albanilería, de hormigonado y de excavación
- Armazones de apoyo para las máquinas y los equipamientos ofrecidos
- Equipo de edificio, como p.ej. iluminación, calefacción / ventilación, instalaciones sanitarias, etc.
- Provisión y montaje de la iluminación para cables, edificio
- Provisión y montaje de las instalaciones sanitarias
- Equipo de oficina
- Dispositivos de protección contra los rayos
- Dispositivos de protección contra incendios y explosiones
- Toma de agua para el sistema de extinción
- Protección contra contacto para superficies calientes
- Equipo de vapor
- Equipo de aire comprimido
- Abastecimiento de la planta con agua fuera de los límites de suministro de la planta
- Distribución principal de voltaje y cables de alimentación a los armarios de distribución
- Circuito de potencia eléctrica (montar control central)
- Alimentación eléctrica hasta la regleta de bornes de alimentación de los armarios de distribución
- Material de instalación eléctrica para la conexión de los equipos electrónicos con los armarios de distribución
- Toma de tierra de fundación
- Equilibrio potencial para máquinas, armazones, estructuras metálicas, canales para cables, edificio
- Tuberías para agua, vapor y aire comprimido
- Tuberías de aire para la aspiración
- Tuberías de aire para el aire del secador / enfriador
- Aislamientos térmicos
- Montaje y optimización
- Herramientas de montaje, grúas y aparatos elevadores
- Corriente para obra e iluminación
- Areas de almacenamiento para el equipo durante el montaje
- Seguros de toda clase

Pos. Cnt	Descripción	EUR: Precio unitario	Precio total
	<ul style="list-style-type: none"> Impuesto s, derechos de aduana, tributos públicos, etc. Todas las partes marcadas como "Alternativa" Todas las partes y todos los servicios no mencionados 		
	<p>Condiciones</p> <ul style="list-style-type: none"> Certificac iones locales Medidas adicionales 		
	<p>Fijación de precios</p> <p>FOB Hamburg, según INCOTERMS 2010</p>		
	<p>Validez de la oferta</p> <p>Nuestra oferta es válida para 3 meses. Después de esta fecha nos reservamos el derecho de revisar la oferta.</p>		
	<p>Plazo de entrega</p> <p>Aprox. 5-6 meses después del recibo del pedido y del pago inicial así como después de haber aclarado todos los detalles técnicos y comerciales. Nos reservamos el derecho de revisar el plazo de entrega al pasarse el pedido.</p>		
	<p>Prescripciones antideflagrantes</p> <p>Los precios de esta oferta no consideran la instalación de la máquina o planta en zonas que se definen de acuerdo a las normas para la protección contra explosiones de la Directiva CE 1999/92/CE (ATEX 137) y su transposición al Derecho alemán. Como opción, el proveedor ha ofrecido equipos adicionales que permiten la instalación en la zona 22. La base es la transposición de la</p>		
	<p>Pago</p> <p>30 % pago inicial al hacer el pedido, 70 % con una carta de crédito irrevocable y confirmada a nuestro favor, avisada por y pagadera en nuestro banco en Hamburgo, contra presentación de los documentos de despacho.</p>		
	<p>País de origen</p> <p>Unión Europea</p>		
	<p>Normas y directivas</p> <p>El precio del contrato considera el diseño y la fabricación del producto o de la planta en conformidad</p>		

Pos. Cnt	Descripción	EUR: Precio unitario	Precio total
	<p>Directiva CE 1999/92/CE (ATEX 137) al Derec ho alemán</p> <p>Zonas diverg entes, regula ciones locales o medidas de seguridad por el Cliente o su seguro deben ser indicadas por el Cliente y/o su autoridad competente a su debido tiempo antes de comenzar la planificación. El Cliente pagará los gastos adicionales correspondientes.</p>		
	<p>Documentación</p> <p>En Español, dos copias.</p>		
	<p>Precios y volumen de suministro</p> <p>Los precios y el volumen de suministro de nuestra oferta son limitados por el texto de las posiciones indicadas. El proveedor se reserva el derecho de modificar el equipo técnico.</p> <p>Incluso los datos de diseño y el aspecto exterior de máquinas individuales, en cuanto al uso de la planta completa para el fin determinado en el contrato y el cumplimiento de la capacidad indicada no sean afectados</p>		
	<p>Responsabilidad por defectos</p> <p>El proveedor garantiza la alta calidad de su equipo. El periodo de garantía es de 12 meses a partir de la fecha de la puesta en marcha, pero no más de 18 meses a partir de la fecha de la última entrega parcial del equipo. Si un defecto se manifiesta durante el periodo de garantía, el proveedor deberá corregir el defecto o reemplazar la parte defectuosa del equipo. La garantía del proveedor no cubre el desgaste y deterioro normal.</p>		
	<p>Condiciones de responsabilidad</p> <p>El derecho de saneamiento debido a defectos y/o la posible responsabilidad por defectos supone la puesta en marcha del equipo por nuestro especialista, la operación y el mantenimiento según las instrucciones de servicio y la utilización exclusiva de nuestras piezas de recambio y desgaste originales.</p>		
	<p>Limitación de la responsabilidad</p> <p>El proveedor sólo responderá de daños ocasionados a su volumen de suministro. Daños indirectos o daños consecuenciales, como p. ej. pérdida de producción, pérdida de utilidad, pérdida de contratos, beneficio no obtenido o cada otro daño indirecto son excluidos, salvo que los daños sean producidos con premeditación o por negligencia grave por parte de personal de alta dirección del proveedor. Por lo demás, la responsabilidad legal del proveedor se limitará a los daños característicos de contratos y razonablemente previsible, sin embargo el precio de compra como máximo.</p>		
	<p>Litigios y legislación aplicable</p> <p>Todas las desavenencias que deriven de esta oferta o que guarden relación con ésta serán resueltas definitivamente de acuerdo con el Reglamento de Arbitraje de la</p>		



Cá ho material suizo. Queda excluida
mar la aplicación de la "Convención de
a las Naciones Unidas sobre los
de contratos de compraventa
Co internacional de mercaderías"
mer hecha el 11 de abril de 1980
do (CCIM).

Condiciones de suministro

Se aplican las "Condiciones
 generales para el suministro y
 montaje de productos eléctricos,
 mecánicos y electrónicos,
 Orgallme SE 01, de Septiembre
 2001" adjuntas, a no ser que se
 indiquen arriba unas
 disposiciones divergentes.

La
 sede
 del
 arbitraje
 será
 Zúric
 h,
 Suiza
 . El
 idioma
 a del
 arbitraje
 será
 Inglés
 . El
 contrato
 alto
 está
 sujeto
 al
 derecho



Anexo
A Condicio
m nes
a generale
n s para el
d s para el
u suministro
s o y
s montaje
s de
K producto
a s
h eléctricos
l ,
l mecánic
l os y
G electróni
m cos,
H Orgallme
H SE 01,
& Septiembre
 2001

C
o
.
K
G

Su Contacto en Chile:

ORTIZCO S.A.

El Rosal 5063, Huechuraba,
 Santiago

Tel.: +562 24365500

www.ortizco



Anexo C3: Expertos consultados

Harald von Borries

Ingeniero Civil Industrial Universidad de Chile, MBA Universidad Católica de Valparaíso
Experiencia Laboral

1 año Ingeniero de Estudios en Gerencia Empresas Corfo

20 años en BAT Chile, Gerencia de Operaciones, Gerencia de Ingeniería, Gerencia General Litografía Moderna, Gerencia de Proyectos Empresa Malloa

18 años en B Bosch S.A., Gerente de Unidad de Negocios Industriales

Profesor guía UDP trabajo de título Proyecto Logístico

Gerardo Wendler

Ingeniero Civil Electrónico Universidad Santa María, MBA Universidad Adolfo Ibáñez
Experiencia laboral

14 años en BAT Chile, en Mantenimiento Industrial, Gerencia de Ingeniería, Gerencia Proyecto Fabrica Casablanca, Gerencia de Operaciones y Gerente departamento Producción.

5 años Gerente Producción BAT Centroamérica, Gerente de Operación en Guatemala, Ecuador y Uruguay

3 años en Sofruta Industria Alimenticia en Sao Paulo Brasil como Director General

11 años como Consultor de Proyectos Industriales, Eficiencia Energética y Energías Renovables. Fundador y socio principal de Sustainable Energy Ltda.

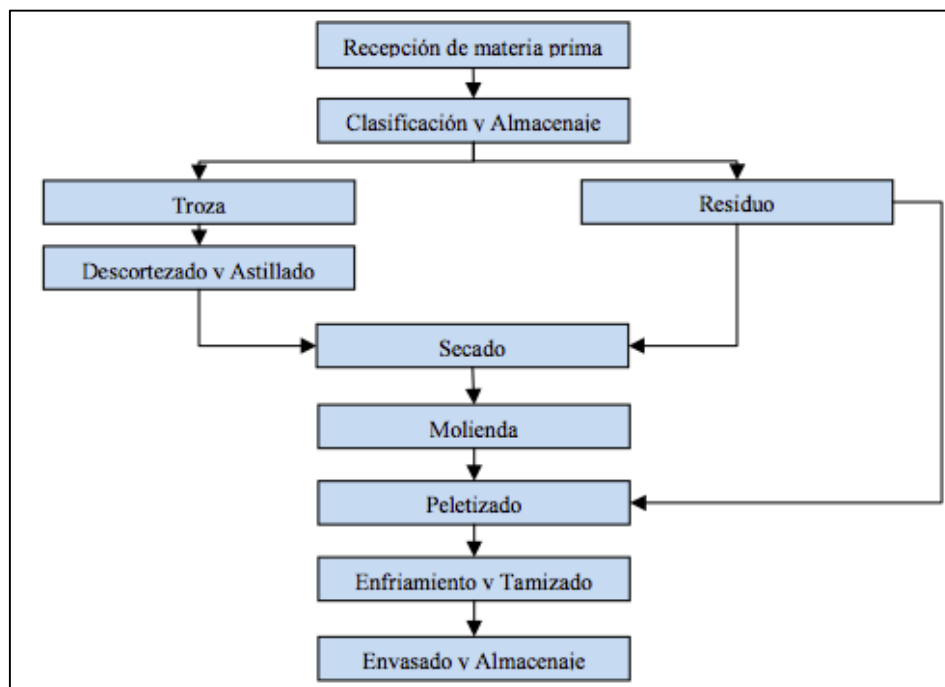
Anexo C4: Descripción del proceso productivo

El proceso productivo presentado a continuación fue extraído de la memoria de Natalia Fredes “*Evaluación Técnica y Económica de una planta de producción de combustible sólido a partir de biomasa forestal en la Región de Los Lagos*” [22]

El proceso de pelletizado de residuos madereros ha sido utilizado durante décadas, siendo la principal dificultad la necesidad de obtener la mayor homogeneidad posible en el producto, así como unos límites de humedad y tamaño establecidos en función de la calidad del pellet que se desea elaborar. Este proceso se compone de una serie de etapas de transformación física, las cuales incluyen la preparación de la materia prima a partir de la reducción de tamaño y secado de los residuos, para luego densificarlos según las especificaciones requeridas, dando origen a los pellets de madera.

A continuación, se presenta un diagrama de bloques del proceso básico de pelletizado con cada una de sus etapas asociadas, complementando la información entregada en la sección “Combustibles madereros - Pellets”.

Ilustración 19: Diagrama de bloques general del proceso productivo elaboración de pellets madereros



Fuente: Fredes, 2014

1. Almacenamiento de materia prima.

Es la primera etapa del proceso y consiste en el ingreso y recepción de la materia prima, la cual es clasificada según granulometría y humedad, y almacenada en silos o en almacenes de techo cerrado, para aislarla de contaminantes externos. Se recomienda que en los casos en los que se maneje una gran variedad de residuos, éstos sean separados según tamaño, prefiriendo reducir los residuos más grandes en desmenuzadoras y astilladoras para facilitar su manipulación, y por humedad, evitando la mezcla de residuos húmedos y secos que reduciría la necesidad del secado.

El tipo de almacenamiento de los residuos de madera depende de muchos factores, entre los que destacan la forma y contenido de humedad del residuo, las condiciones climáticas, la frecuencia con que se hagan las entregas, necesidad de secado, etc., siendo importante que la zona de acopio sea ventilada para que las corrientes de aire puedan ayudar al secado natural. Para el caso del aserrín, se recomienda el sistema de almacenamiento cubierto, el cual permite proteger la materia prima contra pérdidas y daños causados por el viento y la lluvia, consistiendo generalmente, en edificaciones abiertas por los lados, tolvas, depósitos o silos, que se suelen ubicar muy cerca de la planta productora, con una capacidad de existencias para 48 horas, pudiéndose así mantener el funcionamiento continuo del proceso.

Es importante considerar que, durante el almacenado de los residuos de madera, se produce una serie de procesos químicos y biológicos por la acción de microorganismos y las células vivas de la madera que liberan calor, ocasionando deterioros y pérdidas energéticas en los materiales. La temperatura al interior de una pila de residuos madereros puede llegar sobre los 50° C durante las primeras semanas de almacenamiento, estabilizándose para luego disminuir de forma progresiva, aunque en ciertas ocasiones pueden producirse fenómenos de carbonización o ignición espontánea. Por lo anterior, se recomienda no hacer pilas de más de 50 [m³] con 4 [m] de altura para evitar el apelmazamiento del material y controlar la temperatura de su interior para airear el residuo cuando se sobrepase los 60° C. Sin embargo, para mejorar las condiciones de almacenamiento por largos períodos de tiempo, es mejor secar el residuo a partir de un secado forzado, si se desea bajar la humedad a un porcentaje menor del 15% en peso o someterlo a secado natural, cuyo tiempo de proceso puede oscilar entre 1 y 3 meses de duración. La Ilustración 20, muestra un ejemplo de almacenamiento de materia prima, ampliamente utilizado en la industria de los combustibles densificados.

Ilustración 20: Almacenamiento de residuos madereros antes de su tratamiento



2. Secado.

El secado es una etapa que puede o no estar presente dependiendo de la humedad de la materia prima utilizada para el proceso. Cuando se utiliza viruta o aserrín seco no es necesario, sin embargo, si se usa aserrín húmedo, éste debe ser secado previamente al afinado hasta lograr valores de humedad en torno al 10-15%, requerido por el proceso.

El secado es una de las fases más importantes, puesto que la humedad influye en el poder calorífico del pellet, en su fragilidad, y en el rendimiento de la caldera en la cual tendrá lugar la combustión del producto, por lo cual es uno de los parámetros más relevantes a controlar en el proceso.

Este secado puede hacerse por diferentes sistemas, teniendo en cuenta principalmente el costo del proceso, ya que se estará utilizando energía para producir energía, y su calidad, para preservar las características de la materia prima necesarias para su posterior pelletización.

El proceso de secado al que será sometida la materia prima puede ser mediante secado natural o secado forzado.

Secado Natural:

Este sistema se basa en el aprovechamiento de las condiciones favorables que nos ofrece el medio ambiente que posibiliten la deshidratación de los residuos almacenados y obtener unos niveles de humedad que posibiliten el proceso de conversión en energía. Con este tipo de secado, se puede producir una pérdida de humedad de un 15 a 20% hasta conseguir una humedad mínima entorno al 25% tras almacenar la materia prima durante más de un mes, por lo que no es rentable ni práctico. Este secado se recomienda que se haga en zonas cubiertas y bien ventiladas, ya que el aserrín es más propenso a absorber agua de lluvia y necesita más tiempo para secarse al aire que los residuos de madera mixtos.

Secado Forzado:

Este proceso consiste en el aporte de calor a través de un flujo térmico, que puede ser de agua caliente, mediante un intercambiador de calor, o a partir de una corriente de aire caliente, permitiendo así la deshidratación de la madera hasta los niveles exigidos. Los equipos utilizados en secado forzado se clasifican en secadores directos, en los cuales la evaporación de agua se realiza gracias al contacto directo entre el material húmedo y el aire caliente en movimiento, y secadores indirectos donde la transferencia de calor se realiza a través de una pared de retención. La principal diferencia entre ambas configuraciones es que en la primera, la transferencia de calor es del tipo convectiva³⁹, cobrando gran importancia la velocidad del flujo de aire, mientras que en la segunda, la energía del fluido caliente es entregada al material por conducción.

En la actualidad, se utilizan principalmente dos sistemas de secado forzado, el secado de banda de baja temperatura y el secado directo con trómel, ambos equipos mostrados

³⁹ La transferencia de calor a través de convección es a través de una transferencia de calor a través de un líquido o gas.

en la Ilustración 21. La ventaja del primero es que, al ser realizado a bajas temperaturas, se respeta las propiedades de la madera evitando el tostado o quemado, reduciendo el consumo de energía, el riesgo de incendio y las emisiones contaminantes. Sin embargo, para cantidades elevadas de humedad esta tecnología es menos eficiente que el secado con trómel (850 [kcal/Kg] frente a las 960 [kcal/Kg] del secador de bandas), siendo esta última una tecnología mucho más extendida. La principal desventaja del secado con trómel es que permite un menor control sobre el proceso, aumenta el contenido de cenizas en los pellets y la lignina de la madera sufre una mayor alteración al entrar en contacto directo con gases a alta temperatura, además de requerir sistemas de limpieza de gases si la energía térmica utilizada proviene de un horno de biomasa.

Se debe tener en cuenta que la humedad requerida por el producto final es menor 10%, pero en el proceso de molienda se pierda un 0,3% de la humedad de la materia prima y durante el proceso de peletización, las partículas pueden llegar a perder entre el 2 y 3% de su humedad, por lo que después del secado debe obtenerse una materia con una humedad ligeramente superior al 10%.

Ilustración 21: Secadores industriales de aserrín. Secador de Bandas [Izquierda]; Secador tipo trómel [Derecha]



3. Molienda.

En esta operación, la materia prima debe ser llevada a una granulometría pequeña y uniforme, inferior a los 5 [mm] a partir de la utilización de un molino, siendo los más utilizados a nivel industrial los molinos de bolas y barras, los molinos de rodillos y de martillos.

Los dos primeros equipos mencionados corresponden a un cilindro horizontal que gira alrededor de su eje longitudinal, conteniendo en su interior los moledores, en este caso bolas o barras de acero, los cuales se mueven libremente entre el material, pulverizándolo

por fricción y percusión de los elementos trituradores. Debido a sus características, estos equipos son ampliamente utilizados en la industria minera.

Por otro lado, los molinos de rodillos funcionan triturando y moliendo materiales entre sus dos grandes rodillos giratorios. Éstos comprimen el elemento a triturar, pudiendo ajustar su granulometría a partir de la variación de la distancia entre los rodillos. Su principal ventaja es que el consumo eléctrico es el 50% menor al de los molinos de bolas, siendo muy utilizado en la industria del cemento.

En relación al molino de martillos, su funcionamiento se basa en el impacto que ejercen los martillos sobre el material a desintegrar, manteniendo una similitud con el proceso tradicional de molienda sobre un mortero. Para el caso de la biomasa, ésta es machacada mediante la rotación de un eje al que están adosados martillos de aleaciones duras (acero), sobre un cilindro agujereado según el tamaño de partícula que se desea obtener.

El molino de martillos es el equipo más utilizado en procesos de molienda de materiales biomásicos debido a que están diseñados específicamente para triturar y pulverizar materiales que no sean demasiado duros o abrasivos. Se caracterizan por su gran versatilidad, dado que se puede ajustar la granulometría variando la rejilla de salida, menor costo de inversión respecto a los otros molinos mencionados y ahorro en consumo energético respecto al molino de rodillos. En la Ilustración 22 se puede observar un ejemplo del equipo descrito.

La importancia de la molienda en el proceso de pelletizado reside en que una adecuada trituración del material, permite un alto grado de compactación y, al mismo tiempo, reduce la producción de finos, permitiendo la elaboración de pellets con buenas características físicas. El inconveniente de esta etapa, es su consumo energético, el cual depende directamente del tamaño final de partícula y del tipo de material a tratar.

Esta etapa puede intercalar su orden en el proceso con el secado, dado que existen equipos como los molinos de húmedo, que permiten utilizar materias primas con altos contenidos de agua. Además, dado que el secado es un proceso de transferencia de masa, se ve favorecido por la disminución de tamaño de partículas gracias al aumento en el área de contacto entre la madera y el aire caliente, facilitando la evaporación de agua del material. A su vez, la molienda y secado de la materia prima pueden ser combinados, puesto que, en un molino de secado, el martillado cambia los tamaños de las partículas que al mismo tiempo son deshidratadas, permitiendo obtener partículas homogéneas en tamaño y humedad para la obtención de pellets más resistentes y durables.

Dependiendo de la materia prima utilizada, puede ser necesario dos etapas de triturado en un molino de martillos, la primera donde se reduce el tamaño de la materia prima con un 50% de humedad hasta unos 6 [mm], y la segunda posterior al secado, donde todas las partículas homogéneas reducen su tamaño hasta un máximo de 3 [mm], dependiendo

del requerimiento de la prensa de pelletizado. Cuando se utiliza biomasa de mayor tamaño, como trozas, es necesario incorporar al proceso etapas de astillado y trituración previa a la molienda para facilitar el transporte, almacenamiento y secado natural del material, dado que se recomienda que la materia prima a granular tenga un tamaño similar a los 20 x 40 x 3 [mm].

Ilustración 22: Molino de martillos para aserrín



4. Pelletizado.

El pelletizado es la etapa principal del proceso descrito, en la cual se efectúa un trabajo de compresión de forma continua sobre la materia prima, disminuyendo su volumen de 3 a 5 veces. Para ello, se aplica alta presión sobre un material, en este caso lignocelulósico⁴⁰, mediante una serie de rodillos situados sobre una matriz metálica con orificios de salida de calibre variable (entre 5 y 25 [mm]), los cuales en conjunto con el rozamiento del material con la matriz, provoca el calentamiento y aglomeración forzada del mismo. A la salida de los orificios existen unas cuchillas que cortan el pellet según la longitud deseada, normalmente entre 25 [mm] y 65 [mm].

⁴⁰ La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas, compuestas por celulosa, hemicelulosa y lignina.

El pellet en la prensa puede alcanzar temperaturas cercanas a los 100° C, presentando en la salida del equipo un aspecto blando y una temperatura de más de 80° C por lo cual deben ser enfriados para endurecerlos, obteniendo un producto compacto, de humedad reducida y homogéneo. En el proceso de compactación, no es necesario la utilización de ningún componente aditivo, puesto que los propios componentes lignocelulósicos actúan como aglomerante, pero dependiendo de las características de la materia prima, se puede agregar vapor al proceso para facilitar el pelletizado y mejorar los rendimientos de la prensa, o ciertos aditivos aglutinantes para aumentar la resistencia del pellet para su posterior transporte. Estos aglutinantes deben ser de origen natural, no contaminantes durante el proceso de combustión, por lo que generalmente se utilizan distintos tipos de almidones como de papa, maíz, trigo, mandioca entre otros, los cuales deben ser agregados en proporciones no superiores al 2% en peso, según las normativas europeas.

En el mercado existen dos tecnologías de pelletizado probadas, en función del tipo de matriz empleada, y una tercera en fase inicial de expansión. Cada una confiere al proceso unas condiciones determinadas de operación, y su elección dependerá del resultado final deseado y de la materia prima utilizada.

La tecnología de matriz plana se basa en un disco metálico con orificios, según las características buscadas en el pellet. Su morfología le aporta unas ventajas importantes frente a la matriz anular, dado que para producciones similares, la velocidad lineal de los rodillos giratorios es menor, lo que implica una reducción de vibraciones y ruidos de los elementos móviles, además que como la matriz está apoyada en la base fija de la planta a lo largo de toda la circunferencia de su perímetro, posee mayor estabilidad y resistencia frente a la presión ejercida por los rodillos, permitiendo la obtención de un producto con mejores características de dureza.

Otras de sus características son las perforaciones existentes en la matriz a lo largo de toda la superficie del disco, las cuales tienen una parte cilíndrica recta y dos cónicas, en los extremos de la perforación. Si estas superficies cónicas son similares, es posible duplicar la vida útil de la matriz, manteniendo las características del producto, sin más que cambiar la superficie de ataque de la biomasa. Esta reversibilidad aumenta la durabilidad de la matriz, reduciendo ostensiblemente el coste de reposición de la matriz desgastada. La maniobrabilidad de una matriz plana es mayor, y la simplicidad en su montaje y manipulación facilitan las labores de limpieza y mantenimiento de los equipos.

Por otro lado, la tecnología de matriz anular aporta unas ventajas, que hacen que en determinadas circunstancias su elección pueda ser interesante, como por ejemplo en el caso de utilización de biomasa agrícola, en el cual es aconsejable la pelletización con matriz anular dado que se requiere de una fuerza de compresión menor. Sin embargo, esta tecnología presenta otras características como una capacidad de producción mayor debido a que tomando un diámetro determinado, la superficie perforada en una matriz anular se extiende a lo largo de una superficie cilíndrica, mientras que la matriz plana tiene una superficie útil en forma de corona circular. Además, en este equipo se

consiguen perfiles de presiones homogéneas en toda la superficie circular, lo que aporta estabilidad a la prensa y genera un desgaste distribuido a lo largo de la banda de rodadura de la matriz, presentando un costo del equipo completo menor. La matriz plana como elemento independiente de la planta es más barata que la anular, pero en conjunto, una planta pelletizadora de matriz anular resulta más económica que una de matriz plana, dado que los elementos accesorios reducen el coste total del equipo. La Ilustración 23 muestra un ejemplo de prensa de matriz plana y matriz anular, utilizadas en la industria de extrusión de residuos madereros.

En general, se recomienda que, para la biomasa forestal, es más conveniente la utilización de la tecnología de pelletizado de matriz plana, ya que requiere fuerzas de compresión mayores debido a la dureza de los residuos madereros, lo cual es favorecido por el movimiento de cizalla producido entre los rodillos compresores y la matriz.

Respecto a la nueva tecnología desarrollada en Italia y producida por la firma eslovaca AVS plus, denominada EcoTreSystem, supone un cambio importante en la forma de producción de pellets, planteando como principales ventajas el menor consumo de energía al permitir la eliminación del proceso de secado de la biomasa y enfriado de los pellets, la utilización de materias primas con hasta 35% de humedad y tamaño no uniforme, además de un costo de inversión y producción menor.

El funcionamiento consiste en introducir la biomasa entre dos cilindros huecos agujereados que giran uno contra el otro, actuando simultáneamente como sistema de secado mecánico mediante presión y como matrices al obligar el paso de la biomasa por extrusión a través de sus agujeros para formar los pellets. La principal diferencia con la tecnología de matriz anular radica en que mientras que en el primer caso los pellets son extruidos hacia el exterior de la matriz, en el nuevo sistema los pellets se producen hacia adentro. Este nuevo método de producción de pellets tiene como resultado la eliminación de la fase de secado previo, ya que puede utilizarse biomasa con más cerca de un 35% de humedad, y el enfriamiento posterior de los pellets al no producirse un calentamiento excesivo durante el proceso. Sin embargo, dentro de los contras de este sistema están que es una tecnología que no está probada, y que los pellets pueden tener problemas de compactación cuando se utiliza biomasa dura procedente de restos o cortas de madera, aunque el fabricante considera que es apta para todo tipo de materiales. Actualmente se están realizando proyectos de demostración para mostrar las ventajas de este nuevo sistema que todavía no es muy conocido y se enfrenta a la desconfianza de los productores de pellets.

Independientemente de la tecnología de pelletizado empleada, los sistemas de alimentación y acondicionamiento son similares, destacando en primer lugar la tolva de alimentación que actúa como pulmón para evitar posibles paradas de la planta pelletizadora, la rosca o tornillo que alimenta la prensa desde la tolva, manteniendo un flujo constante de materia prima regulado previamente y la cámara de mezclado,

acondicionada con aspersores y tubos de vapor, en la cual se agregan los aditivos y vapor en caso de que sean requeridos por el proceso.

Ilustración 23: Prensas de pelletizado de residuos madereros. Prensa matriz plana (Izquierda); matriz anular (Derecha)



5. Enfriamiento.

Esta etapa es muy importante en el proceso productivo, puesto que se estabilizan y mejoran las características mecánicas del producto. Luego de la densificación, la temperatura de los pellets es alta, entre 80 y 90° C, su consistencia es blanda y es posible la formación de hongos. Al someter el producto a un enfriamiento rápido, la lignina presente en la superficie se endurece, dando forma, dureza y resistencia al pellet, para evitar su disgregación durante las etapas de manipulación posteriores de envasado y transporte, además de evaporar el agua residual.

Generalmente, el producto es descargado de la prensa por un dispositivo especial, que minimiza las fracturas del producto, hacia un equipo enfriador de contraflujo, donde se proporciona una corriente de aire frío en sentido contrario a la caída del pellet mediante un ventilador. Otra forma de realizar el proceso es introduciendo aire forzado mediante ventiladores en la tolva donde se descargan los pellets, dejándolos reposar hasta obtener las características adecuadas. La Ilustración 24 presenta un ejemplo de enfriadora a contracorriente para pellets madereros.

Ilustración 24: Enfriadora en contracorriente para pellets de madera



6. Tamizado.

El tamizado consiste en separar el polvo de la materia prima, mezclado entre los pellets, para reincorporarlo al proceso de pelletizado. Esta etapa usualmente es realizada con un tamizador con sistema de vibrado para asegurar un producto homogéneo que preserve sus características, tal como se aprecia en la Ilustración 25. También este proceso puede ser desarrollado haciendo pasar los pellets por un sistema de cribas, donde se rescata restos de materia prima sin compactar y trozos de pellets disgregados durante el enfriado o en el transporte en cinta, los cuales son reconducidos mediante un tornillo sinfín al molino anterior a la prensa para su reutilización en el proceso.

Ilustración 25: Tamiz vibratorio



7. Envasado.

Luego de que el producto es enfriado, los pellets pueden ser envasados en diferentes formatos según su destino, mientras que los pellets que se comercialicen a granel son cargados directamente en camiones para su reparto o almacenan en silos para su posterior distribución. El transporte a granel puede realizarse con tractores, camiones tauliner o cisternas, siendo este último el más utilizado debido a que se puede descargar el pellet usando aire presurizado directamente en el almacén del consumidor final. Este tipo de transporte de pellet es ideal para grandes calderas, donde las características del transporte a granel suelen ser 38 [t/vehículo], entrega mínima de 3 [t], pesaje en cada entrega y facturación por peso, siendo el sistema de venta de pellets al menor precio de mercado.

Las presentaciones comerciales más expandidas, además de la entrega a granel son las smallbags y maxibags, tal como se aprecia en la Figura 4.8. Las smallbags son bolsas pequeñas cuyo tamaño se encuentra entre los 10 y 20 [Kg], que suelen ser almacenadas y vendidas sobre pallets hacia un minorista que las distribuye al consumidor final. Estas bolsas pequeñas están dirigidas a consumidores que usan los pellets en pequeñas estufas o como un combustible adicional o complementario. Si bien estas bolsas son muy prácticas para alimentar las estufas, el precio que tiene el pellet en estos volúmenes es una clara desventaja en comparación al mercado mayorista.

Los maxibags son bolsas, generalmente con una válvula inferior de descarga, cuyo tamaño oscila entre los 500 y 1.000 [Kg], siendo una solución intermedia entre las bolsas pequeñas y la descarga con camión. El problema es que su recepción requiere de un

cargador frontal para su transporte por lo que es un sistema poco práctico para pequeños consumidores, siendo mayormente usados en Europa por granjeros y consumidores industriales, que poseen maquinaria para el manejo de estas bolsas y equipos de potencia media.

Ilustración 26: Comercialización de pellets en Maxibags y Smallbags



8. Almacenaje y producto terminado.

El almacenaje de los pellets, tanto del producto envasado como a granel, debe procurar mantener una temperatura y ventilación adecuada, además de evitar que los pellets absorban humedad, protegiéndolos de la lluvia y condiciones atmosféricas desfavorables.

Los pellets son muy sensibles al desgaste físico y por lo tanto deben ser manejados con cuidado, minimizando los transportes y movimientos dentro del almacén que puedan generar grandes caídas aumentando el contenido de finos.

Para el caso de los pellets envasados, se recomienda que las bolsas sean dispuestas sobre un pallet desde abajo hacia arriba construyendo pilas cónicas unidas entre sí, que permitan separar el producto según los días de fabricación, de manera de identificar y retirar un lote más fácil si existe alguna inconformidad en el producto. La Figura 4.8 muestra un ejemplo de almacén de producto terminado para los formatos de comercialización de pellets más expandidos.

Por otro lado, el almacenamiento de los pellets a granel, requiere cuidados para evitar el auto calentamiento del producto y por ende riesgos de ignición espontánea, asociado a su bajo contenido humedad. Sin embargo, debido a esa característica, el crecimiento de microorganismos es limitado por lo que no reviste mayores problemas. Esto puede ser realizado utilizando silos de almacenaje, depósitos subterráneos o naves de almacenamiento.

Anexo C5: Cotizaciones de calderas

Begin forwarded message:

From: Arnulfo Oelker <aoelker@thermal.cl>
Subject: Re: Solicitud de cotización informativa caldera para planta secado aserrín
Date: 15 de julio de 2015 12:22:14 GMT-3

Disculpas nuevamente por esta propuesta, que se me quedó en el tintero.

Te adjunto una propuesta por una caldera como la que requieres...

En el caso de una caldera para biomasa el precio sería de aproximadamente US\$ 400,000.00 y equipos auxiliares (caldera ex - fábrica)
Este precio incluye un multiciclón... que debería ser suficiente para abatir MP, ya que, entiendo no existen límites de emisiones por el momento, para la zona donde deseas instalar esta caldera.


Te adjunto un catálogo de la caldera para gas/petróleo (tamaño 200 HP) y un catálogo sobre calderas para biomasa.

El consumo de combustible, para generar 2350 Kg/h de vapor será el siguiente:

- FO6 = 148 Kg/h
- LPG = 130 l/h
- Diesel = 160 l/h
- Biomasa = 775 Kg/h (45 % de humedad... Pci = 2100 Kcal/Kg)

El precio del combustible debería ser el siguiente:

- FO6 = 290 \$/Kg
- LPG = 240 \$/l
- Diesel = 380 \$/l
- Biomasa = 24 \$/Kg (45 % de humedad)... Seguro tu tienes el precio más claro que yo


THERMAL ENGINEERING

Thermal Engineering Ltda.
Avenida Vespucio 2880, Of. 902
Fonos: (56-2) 623 2852
Fax: (56-2) 623 4051
E-mail: aoelker@thermal.cl
Santiago, Chile

Santiago, Junio 24 de 2015.

Señor
Presente

Ref. : CALDERA Y EQUIPOS AUXILIARES

Estimados Señores:

En atención a lo solicitado, enviamos una revisión de la propuesta por el suministro de una caldera HURST BOILER (USA) con capacidad para generar 3128 Kg/h de vapor nominales, considerando una presión de diseño de 200 psi, usando petróleo Nº6 como combustible.

Se contempla además suministrar todos los equipos auxiliares requeridos para conformar una planta térmica, tales como: estanco de condensado, bombas dosificadoras de productos químicos, estanco de purgas y ablandador de agua dúplex automático.

También se incluyen los sistemas de manejo y almacenamiento de petróleo: bomba descarga carban, estanco almacenamiento, bombas trasvasije, estanco diario petróleo, bombas anillo recirculación.

1. Suministro Importado

1.1 Caldera

Se contempla el suministro de una caldera protubular de tres pasos fabricada en Estados Unidos por HURST BOILER Co., cuyos antecedentes generales son los siguientes:

- Fabricante : HURST BOILER CO.
- Modelo : SE - GP2 - 200 - 150
- Tipo : Protubular / 4 pasos / Fondo húmedo
- Potencia : 200 HP
- Producción vapor nominal : 3128 Kg/h de 100 °C a 100 °C
- Presión de diseño : 200 psig
- Combustible : Petróleo Nº6

Los accesorios de la caldera son los siguientes:

- Presostato de seguridad
- Presostato de control
- Presostato proporcional
- Control de nivel primario McDonnell & Miller
- Control de nivel secundario McDonnell & Miller
- Manómetro
- Termómetro chimenea

Las válvulas suministradas con la caldera son las siguientes:

- Válvula principal de vapor
- Válvula de seguridad
- Válvula de corte y anti-retorno en alimentación de agua
- Válvulas de purga de fondo cierre rápido y lento

Se contempla el suministro de una chimenea de 406 mm de diámetro y 6 m de largo, fabricada en acero al carbono con terminación de pintura resistente a la temperatura y goro chino.

Se incluye catálogo en el Anexo N°1 con información general sobre la caldera.

1.2 Estanque de Condensado

Se contempla el suministro de un estanque de condensado, cuyas características son las siguientes características:

- Fabricante : HURST BOILER CO.
- Modelo : FM – 200
- Capacidad almacenamiento : 760 litros (rebalse)

El estanque será aislado con lana mineral y cubierta de zincalum.

Los accesorios son los siguientes:

- Termómetro bimetálico
- Válvula agua reposición tipo flotador
- Nivel visual
- Válvula drenaje

Se incluye en el suministro dos bombas de agua Grundfoss o Xylem, multi-etapas, válvulas de corte y filtro y (succión), válvula de corte y retención (descarga), tablero de fuerza y control.

En el Anexo N°2, incluimos catálogo del estanque de condensado.

1.3 Ablandadores de Agua

Se contempla el suministro de un ablandador de agua duplex modelo HWS – 30 – 1 T.

Se incluye catálogo de ablandadores en Anexo N°3.

1.4 Estanque de Purgas

Se contempla el suministro de estanque de purgas marca Hurst modelo 14 x 34 BDS, fabricado de acuerdo a Norma ASME Sección VIII División 1 y considera una presión de diseño de 250 psig.

Se incluye catálogo estanque de purgas en Anexo N°4.

2. Suministros Locales

En relación a los suministros locales hemos considerado los siguientes equipos y servicios:

2.1 Sistema Manejo Petróleo

2.1.1 Bomba Petróleo Descarga Camión

Se contempla el suministro de un cuadro de descarga de petróleo N°5, desde los camiones en un tiempo de aproximadamente 30 minutos, compuesto por los siguientes elementos montado en SKID:

- 1 cilu bombas
- 2 cilu válvulas corte
- 1 cilu filtros canasto en succió
- 1 cilu conector rápido para manguera camión
- Tablero de Fuerza y Control IP55

Las condiciones de servicio serán las siguientes:

- Caudal : 60 m³/h
- Presión : 50 psi
- Temperatura : 40 °C

2.1.2 Estanque Almacenamiento Petróleo

Se contempla el suministro de estanque almacenamiento de petróleo horizontal, de construcción soldada (automática mediante sistema de arco sumergido y manual), fabricado en plancha de acero ASTM A-36, construido bajo norma BS, cabezal forjístico, bombeado y pesafinado.

Soldaduras serán revisadas mediante radiografías Spot-X-Ray.

El estanque contará con un serpentín de acero con diámetro de entrada de 2" para un calefactor a vapor de 28KW (operación normal) de capacidad.

Las toberas consideradas en el estanque son las siguientes:

- Alimentación petróleo desde camiones de descarga
- Retorno petróleo desde bombas de trasvasije
- Alimentación a bombas de Trasvasije
- Drenaje
- Termómetros y sistema de calefacción a vapor
- Tapa Registro
- Regilla de Medición
- Tobera de Venteo

Las características generales son las siguientes:

- Capacidad: 30 m³
- Diámetro: 2.766 mm
- Largo estanque: 5.490 mm
- Espesor manto: 8 mm
- Espesor Cabezal: 6 mm

La terminación exterior contempla granallado comercial, una capa de revestimiento lana mineral 50mm y con recubrimiento de Zinc Alum 0.5mm.

Las pruebas y certificaciones consideradas para este equipo son las siguientes:

- Prueba de hermeticidad
- Certificación por organismo autorizado por la SEC

Las válvulas y accesorios considerados por el estanque son los siguientes:

- 1 c/u Termómetro con Termowell
- 1 c/u Válvula de Corte (tipo bola)
- 1 c/u cuadro control temperatura a vapor compuesto por una válvula de control temperatura termostática, 3 c/u válvulas de corte (tipo globo) y filtro Y.
- 1 c/u cuadro descarga condensado compuesto por trampa de vapor tipo flotador, 3 c/u válvulas de corte (tipo bola), un filtro tipo Y, y un visor relector de flujo.
- 2 c/u cuadro de medición de presión compuesto por un siphon, una válvula de corte (tipo bola) y un manómetro.

Se excluye el prell, que formará parte de las obras civiles, que deberán ser construidas.

2.1.3 Bombas Trasvasije Petróleo

Se contempla el suministro de un cuadro de trasvasije de petróleo N°5, compuesto por los siguientes elementos montado en SKID:

- 2 c/u bombas petróleo

- 4 c/u válvulas de corte
- 2 c/u válvulas retención
- 2 c/u filtros tipo carasto en succión
- Tablero de Fuerza y Control IP55

Las condiciones de servicio serán las siguientes:

Caudal: 300 l/h
Presión: 50 PSI
Temperatura: 40 °C

2.1.4 Estanque Diario de Petróleo

Se contempla el suministro de estanque diario de petróleo vertical, con prell (espesor 3mm) para contener derrames, de fabricación soldada (automática de arco sumergido y manual), fabricado en plancha de acero ASTM A-36, construido según norma UL, considera fondo plano y cabezal superior lonstérico, bombeado y pestañado.

Los cordones de soldadura serán revisados mediante radiografías Spot-X-Ray.

El estanque contará con un serpentín de acero con diámetro de entrada de 1" para un calefactor a vapor de 4KW (operación normal) de capacidad y un flange de 8" para un calefactor eléctrico de 2KW.

Las toberas consideradas en el estanque son las siguientes:

- Alimentación petróleo desde estanque de almacenamiento
- Retorno petróleo desde anillo de recirculación
- Alimentación a bombas de petróleo anillo recirculación
- Drenaje
- Termómetros y Control de Nivel
- Regilla Medición
- Sistema de Calefacción a Vapor
- Sistema de Calefacción Eléctrico

Las características generales son las siguientes:

- Capacidad de almacenamiento: 0.5 m³
- Diámetro: 756 mm
- Alto aproximado: 1.110 mm
- Espesor manto y cabezal: 3 mm

La terminación exterior contempla granallado comercial y una capa de Epoxi Poliámda Autoprimerante de 3 mils (0.0762mm).

Se incluye aislación con lana mineral y cubierta de zincalum.

Las pruebas y certificaciones consideradas para este equipo son las siguientes:

- Prueba de hermeticidad
- Certificación por organismo autorizado por la SEC

Las válvulas y accesorios considerados por el estanque son los siguientes:

- 4 c/u interruptores de nivel
- 1 c/u Termómetro con Termowell
- 1 c/u cuadro control temperatura a vapor compuesto por una válvula de control temperatura termostática, 3 c/u válvulas de corte (tipo globo) y filtro Y.
- 1 c/u cuadro descarga condensado compuesto por Trampa de vapor tipo flotador, 3 c/u válvulas de corte (tipo bola), un filtro tipo Y, y un visor retardor de flujo.
- 1 c/u cuadro control temperatura eléctrica, compuesto por un Termostato, un termo transmisor, y un calefactor eléctrico
- 1 c/u Válvula de Corte (tipo bola) Drenaje
- 1 c/u Válvula de Corte (tipo bola) alimentación a bombas

2.1.5 Bombas Anillo Recirculación

Se contempla el suministro de un cuadro de Traspasaje de petróleo N°5, compuesto por los siguientes elementos montado en SKID:

- 2 c/u bombas
- 4 c/u válvulas de corte
- 2 c/u válvulas retención
- 2 c/u filtros tipo canasto en succión
- Tablero de Fuerza y Control IPS5

Las condiciones de servicio serán las siguientes:

- Caudal : 300 l/h
- Presión : 50 psi
- Temperatura : 70°C

2.1.6 Cuadro Regulación Presión Anillo de Petróleo

Se contempla el suministro de un cuadro de regulación de presión de petróleo para el anillo de recirculación, compuesto por los siguientes elementos:

- 1 c/u Válvula de Corte (tipo bola, inoxidable)
- 1 c/u Válvula de seguridad alivio de presión, Kunkle

2.2 Ingeniería

Se contempla la entrega de los siguientes documentos:

- Plano Lay-Out
- Plano Flow-Sheet
- Diagramas eléctricos
- Plano de carga para construcción de fundaciones

2.3 Puesta en Marcha

La puesta en marcha será realizada por un Supervisor Técnico de vasta experiencia y contemplará las siguientes actividades:

- Verificación instalación mecánica
- Verificación instalación eléctrica
- Pruebas en vacío
- Encendido de la caldera
- Regulación de la caldera sobre la base del análisis de los productos de la combustión

2.4 Capacitación

Se contempla la realización de un Curso de Capacitación por parte de un Ingeniero Especialista.

A cada participante se le entregará un apunte en español con los temas tratados en el curso.

3. Valorización de la Propuesta

Las tablas mostradas a continuación incluyen la valorización de los suministros importados y locales.

Item	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
1	Caldera	1	US\$ 78.500,00	US\$ 78.500,00
2	Estante de condensado con bombas y tablero	1	US\$ 10.300,00	US\$ 10.300,00
3	Ablandadores automáticos	1	US\$ 2.550,00	US\$ 2.550,00
4	Estante de purgas	1	US\$ 1.950,00	US\$ 1.950,00
5	Chimenea	1	US\$ 1.850,00	US\$ 1.850,00
6	Calentador petróleo con vapor	1	US\$ 4.240,00	US\$ 4.240,00
6	Fleite e interacción	1	US\$ 6.500,00	US\$ 6.500,00
7	Bombas dosificadoras	2	US\$ 1.500,00	US\$ 3.000,00
8	Bomba descarga camión	1	US\$ 41.500,00	US\$ 41.500,00
9	Estante almacenamiento petróleo	1	US\$ 31.250,00	US\$ 31.250,00
10	Bombas trasvasije petróleo	1	US\$ 10.500,00	US\$ 10.500,00
11	Estante diario petróleo	1	US\$ 14.500,00	US\$ 14.500,00
12	Bombas anillo recirculación	1	US\$ 10.500,00	US\$ 10.500,00
13	Cuadro regulación presión anillo petróleo	1	US\$ 3.125,00	US\$ 3.125,00
14	Ingeniería	1	US\$ 3.000,00	US\$ 3.000,00
15	Montaje	1	US\$ 60.000,00	US\$ 60.000,00
16	Puesta en marcha (5 días)	5	US\$ 800,00	US\$ 4.000,00
17	Capacitación	1	US\$ 1.500,00	US\$ 1.500,00
Total				US\$ 288.765,00 + IVA

Notas:

- Se consideran 5 días para puesta en marcha. Los días adicionales tendrán un valor de US\$ 800,00, considerando recargo de 50 % para día Sábado y 100 % para día Domingo.
- No se incluyen gastos traslado, alojamiento y alimentación, asociados a puesta en marcha y capacitación.
- Se consideran las siguientes exclusiones para el suministro:
 - a) Lavado pre-operacional – US\$ 4.000,00
 - b) Certificación por Inspector SEC – US\$ 1.500,00
 - c) Certificación por Inspector SMS – US\$ 1.500,00 (solo caldera)
 - d) Cualquier otra certificación

Condiciones Comerciales

- Precios : Expresados Dólares Estadounidenses + IVA
- Plazo entrega : 12 semanas (fabricación) + 5 semanas fleite
- Forma de pago : 30 % con orden de compra
: 60 % contra notificación para despacho
: 10 % contra puesta en marcha
- Garantía : 12 meses desde puesta en marcha o 18 meses desde entrega ex-fábrica.
- Validez oferta : 30 días

Antecedentes Comerciales Thermal Engineering

Razón Social : Thermal Engineering Ltda.
 RUT : 77.091.780-8
 Dirección : Américo Vespucio Norte 2880 – Of. 902 - Conchali
 Fono : 623 2852
 Fax : 623 4051
 Email : aoeiker@thermal.cl
 Contacto : Arnulfo Oeiker

Esperando que el presente presupuesto tenga una acogida favorable, saluda atentamente,

THERMAL ENGINEERING S.A.



Arnulfo Oeiker Behn