

Estudio de Prefactibilidad de un Sistema de Calefacción Distrital y Agua Caliente Sanitaria en base a ERNC en Coyhaique

Informe Final, 21 de diciembre 2012



Projektteam
Projektteam

Walther, Roger
Sigrist, Robert
Sell, Joachim
Sáez Kramm, Sergio
Pichard Alliende, Felipe
Henzen, Clea

TBE Chile Asesorías y Representaciones Ltda.

Andrés de Fuenzalida 17, of.11
Providencia, Santiago
Telefon +56 2 2331367
fpichard@tbe.cl
www.tbe.cl

Ernst Basler + Partner AG

Calle Villavicencio 301
Providencia, Santiago
+56-9-54143877
roger.walther@ebp.ch
www.ebp.ch/en

1	Antecedentes generales	1
2	Marco conceptual y objetivos del proyecto.....	2
2.1	FODA	2
2.2	Objetivo general	3
2.3	Objetivos específicos	3
3	Cadena de producción para la generación de energía térmica	5
4	Descripción del procedimiento.....	7
5	Oferta de biomasa	8
5.1	Estructura y organización del bosque.....	8
5.1.1	Superficie y ubicación.....	8
5.1.2	Propiedad e infraestructura.....	10
5.1.3	Organización de los actores forestales.....	12
5.2	Categorías y definición de biomasa.....	14
5.3	Uso actual de biomasa	15
5.3.1	Especies en el abastecimiento de leña	15
5.3.2	Bosque nativo	16
5.3.3	Plantaciones Forestales / Cultivos energéticos	16
5.3.4	Desechos Industriales (RAEs).....	16
5.3.5	Residuos del manejo del Bosque	18
5.3.6	Conclusión.....	18
5.4	Precios de biomasa y tendencias.....	19
5.4.1	Precio de la leña	19
5.4.2	Precios de combustibles sustitutos	20
5.4.3	Comparación entre biomasa y combustibles sustitutos.....	21
6	Potencial económico de biomasa	23
6.1	Definición	23
6.2	Metódo	23
6.3	Demanda actual.....	23
6.4	Potencial económico de las fracciones	24
6.4.1	Bosque nativo	26
6.4.2	Plantaciones Forestales	27
6.4.3	Residuos Aprovechables Energéticamente (RAE).....	28
6.5	Recomendaciones para asegurar el abastecimiento de biomasa	30
6.5.1	Factores relevantes	30
6.5.2	Factores de éxito	31
6.5.3	Propuestas para el aseguramiento de biomasa	32
7	Demanda de energía térmica.....	33
7.1	Factores que influyen la demanda de energía térmica	33
7.1.1	Características de los tres tipos de viviendas	33
7.1.2	Aislamiento de los tipos de viviendas.....	34
7.1.3	Factores climáticos	34

7.2	Cálculo de la demanda de combustible y de energía térmica para los tipos de viviendas.....	37
7.2.1	Demanda de combustible	37
7.2.2	Demanda de energía térmica	39
7.2.3	Curva de energía térmica.....	41
8	La infraestructura y tecnología.....	43
8.1	Selección de la mejor opción	43
8.1.1	Descripción de las opciones	43
8.1.2	Criterios para la evaluación	44
8.1.3	Procedimiento	46
8.1.4	Resultados	47
8.2	Almacenamiento de materia prima	48
8.3	Planta de biomasa.....	49
8.4	Calefacción distrital.....	51
8.5	Emisiones de la planta de biomasa	51
9	Organización y modelo de negocio.....	52
9.1	Vista general.....	52
9.2	Modelo de la organización	53
9.2.1	Opción 1: Organización de empresas individuales.....	54
9.2.2	Opción 2: Asociaciones industriales/comerciales (AIC).....	56
9.2.3	Opción 3: Subcontratación o “Contracting”	57
9.2.4	Recomendación para un modelo organizacional	58
9.3	Modelo de la metodología de operación.....	59
9.3.1	Abastecimiento de biomasa	59
9.3.2	Operación y gestión de la planta de biomasa.....	60
9.3.3	Distribución de la energía térmica	60
9.3.4	Conclusión.....	61
9.4	Modelo de mantenimiento	61
9.5	Contrato entre proveedor de biomasa y empresa de servicio	62
9.6	Contrato entre la empresa de servicio y usuario (cliente).....	62
10	Financiamiento y Rentabilidad	64
10.1	Descripción de las 2 opciones	64
10.2	Costos para la opción 2 – 230 viviendas	65
10.2.1	Costo de inversión.....	65
10.2.2	Costo de operación	67
10.3	Costos para la opción 4 – 630 viviendas	68
10.3.1	Costo de inversión.....	68
10.3.2	Costo de operación	71
10.4	Sistema de subsidio y cobranza a los usuarios	71
10.5	Cash – Flow y factibilidad económica	72
10.5.1	Cash - Flow sin subsidios	72
10.5.2	Cash - Flow con subsidios.....	73
10.5.3	Conclusiones.....	76

10.6	Instrumentos de financiamiento alternativo.....	77
11	Términos de referencias	79
11.1	Ciclo del proyecto y elementos por fases	79
11.2	Plan de actividades.....	80
11.3	Competencias de la empresa en las próximas fases	80
12	Conclusiones y recomendaciones	82
12.1	Resumen de los resultados	82
12.2	Recomendaciones	84
13	Referencias	85

1 Antecedentes generales

La ciudad de Coyhaique es la capital y principal ciudad de la XI Región. Posee una población aproximada de 51.503 habitantes, una superficie de 6.454.5 km² y durante el invierno puede alcanzar temperaturas de -20°C. Debido a las bajas temperaturas registradas durante la mayor parte del año, especialmente entre los meses de abril y septiembre, y a su gran superficie de bosque disponible, la leña es ampliamente utilizada como sistema de calefacción de viviendas y otras edificaciones. No obstante, generalmente se utiliza leña que presenta un alto contenido de humedad y en sistemas individuales de combustión poco eficientes. Lo anterior, sumado a la geografía del entorno y al fenómeno de inversión térmica que se produce durante los meses de invierno, generan un grave problema de contaminación ambiental, deteriorando la calidad del aire debido a las altas concentraciones de material particulado (PM10, PM2.5), con el consecuente impacto en la salud de los habitantes de la ciudad, situación que se repite en diversas localidades del centro y sur de Chile. Por su parte, el 1° de enero de 2012 entró en vigencia la nueva norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable, PM 2.5, contenida en el Decreto Supremo N° 12, de 2011, del Ministerio del Medio Ambiente. En este contexto se desarrolla para la ciudad de Coyhaique, así como para otras ciudades en el sur de Chile, una estrategia para reducir la concentración de PM 2.5 en el aire, la que incluye la incorporación de sistemas de calefacción más eficientes y menos contaminantes.

Actualmente existe en Coyhaique un proyecto de urbanización, en el que participan organismos públicos, como entidades privadas, para construir 630 viviendas particulares en el sector denominado Escuela Agrícola, ubicado en el noreste de la ciudad. Los futuros usuarios son de diversa situación social, desde familias vulnerables, con bajo ingreso económico anual, hasta familias de clase media, con mayor disposición al pago por un servicio de calefacción. El plan de construcción del proyecto se planea en etapas, comenzando en febrero 2013 con 230 viviendas del servicio militar. Para contribuir a mejorar la calidad del aire en la Región se está evaluando el proyecto de calefacción distrital y agua caliente sanitaria para las viviendas que serán construidas en este nuevo proyecto de urbanización. Se espera que este proyecto sea una experiencia demostrativa y con alto poder de replicabilidad en comunidades que se encuentran en situaciones similares respecto del uso intensivo de leña para calefacción, con el consiguiente problema de contaminación del aire.

La consultoría consiste en realizar un estudio de prefactibilidad técnica, económica, ambiental, institucional y social para la implementación de un sistema de calefacción distrital y agua caliente sanitaria en base a biomasa, para el nuevo conjunto residencial en el sector Escuela Agrícola de la ciudad de Coyhaique.

2 Marco conceptual y objetivos del proyecto

En el siguiente capítulo, se describen las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas de una planta de biomasa y un sistema de calefacción distrital en Coyhaique. Además, se resumen los objetivos y los resultados que se quieren obtener con el presente estudio.

2.1 FODA

Tabla 1: Análisis FODA del proyecto

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Gran potencial de biomasa en la región • Productores y comercializadores de biomasa, grandes propietarios del bosque nativo con mucho interés en nuevos mercados • Sector privado (SAESA, etc.) con interés de participar • Sistema de certificación de leña, establecida • Iniciativas de producción limpia (APL) • Legislación Ambiental existente 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja aislación térmica de las viviendas en la región • Gran proporción de productores de leña húmeda y de mala calidad • Un mercado informal (90% del sector) • Débil accesibilidad y problemas de logística • Mala reputación de otros medios de calefacción y generación de ACS (Altos precios) • Falta de capacidades técnicas locales
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • La alta contaminación del aire en Coyhaique • Alta demanda de leña • Ineficiencia de los equipos de combustión • Sector público con inversiones en escuelas y hospitales • Tecnología existente • Nuevos actores en el mercado energético • Nuevos modelos de colaboración / Negocios inclusivos • Incorporación de pequeños productores, que de acuerdo a CONAF generan la mitad de la leña que se produce en la región • Proyecto piloto y demostrativo 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta dependencia energética • Abastecimiento y logística de la biomasa en la zona • Altos precios de la biomasa y la mala calidad de biomasa • Acceso a un financiamiento alternativo • No existe cultura de compra de energía térmica • Buena sincronización de cálculos de aislamientos térmicos y su impacto dentro de los niveles de energía determinados para dimensionar el tamaño de la planta generadora (Excedentes/Déficit de Energía)

2.2 Objetivo general

El propósito de la presente propuesta es elaborar un estudio de prefactibilidad técnica, económica, medioambiental, institucional y social sobre la implementación de un sistema de calefacción distrital y aguas calientes sanitarias (ACS) en base a energía de biomasa en el proyecto de urbanización que considera 630 viviendas en el sector de Escuela Agrícola de la ciudad de Coyhaique.

2.3 Objetivos específicos

Los objetivos específicos y los resultados esperados de la presente propuesta son los siguientes:

Objetivo específico	Capítulo	Resultados
Dimensionar el tamaño del sistema de generación de energía térmica requerida para satisfacer la demanda de calefacción y agua caliente sanitaria de las 630 viviendas.	7, 8	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de la normativa de aislamiento térmico y establecimiento de pérdidas térmicas a través de la envoltura de las viviendas. • Determinación de la curva de demanda térmica y la carga peak para las 630 viviendas. • Tamaño requerido para el sistema de generación de energía térmica, a modo de satisfacer la demanda de calefacción y agua caliente de las 630 viviendas. • Estimación de la demanda de combustible o insumo requerido. • Estimación del sistema de respaldo para satisfacer demandas peak, en caso de requerirse, a modo de asegurar la disponibilidad del servicio en todo momento.
Dimensionar el requerimiento de biomasa anual, la disponibilidad y la factibilidad de abastecimiento a nivel local.	5, 6, 8	<ul style="list-style-type: none"> • Determinación del volumen de biomasa y superficie de bosques requerida para el abastecimiento seguro de la planta. • Determinación de la disponibilidad real de biomasa en el área de influencia de la planta. • Determinación de la capacidad instalada en la región (humana y tecnológica), asociada al abastecimiento de materia prima de la planta.
Establecer los plazos requeridos para la implementación del proyecto.	11.1, 11.2	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación del plazo requerido para el diseño y construcción del proyecto.
Establecer los costos de inversión requeridos para el desarrollo del	8, 10	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño del layout del sistema de calefacción distrital y agua caliente sanitaria. • Identificación de todos los insumos requeridos para la

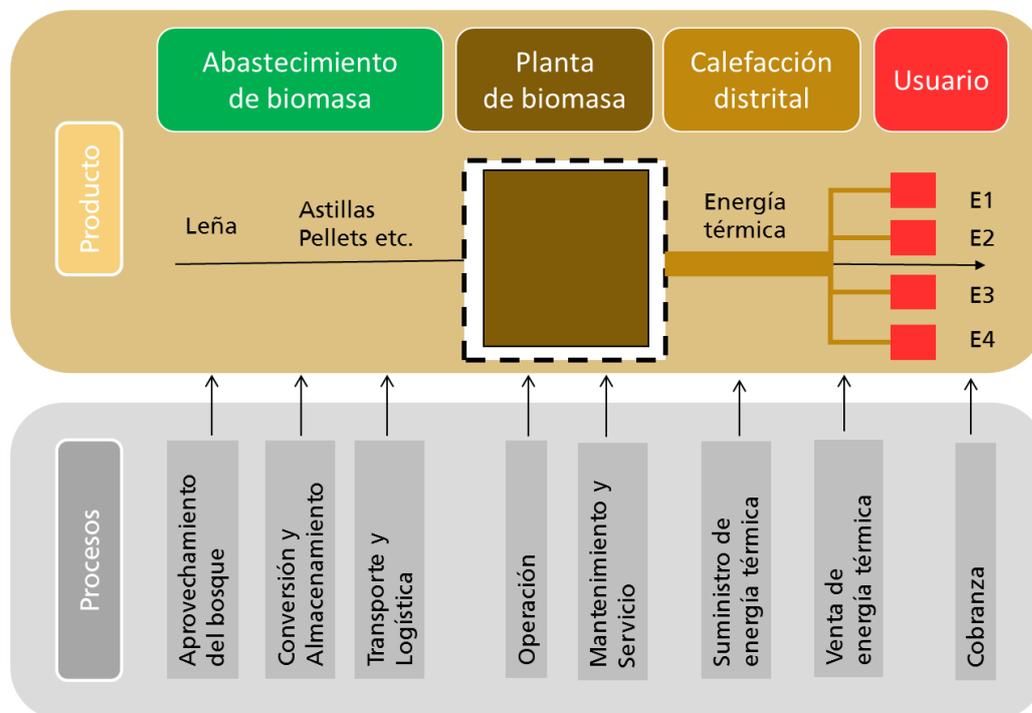
proyecto.		<p>construcción del proyecto y estimación de los costos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estimación de los costos en capital humano requeridos para el diseño y construcción del proyecto.
Establecer los costos de operación durante la vida útil del proyecto.	10	<ul style="list-style-type: none"> • Cuantificación de la necesidad de contrato de mano de obra para la etapa de operación y estimación del costo. • Cuantificación de la cantidad de insumos requeridos en la etapa de operación, tal como combustibles y estimación de costos fijos y variables. • Estimación de los costos de mantención periódica del sistema, reparaciones u otras acciones que deban llevarse a cabo para asegurar el correcto funcionamiento del sistema a través del tiempo y la entrega continua del servicio.
Proponer un modelo de negocio que considere la realidad social de los futuros usuarios y las condiciones locales.	9, 10	<ul style="list-style-type: none"> • Propuesta de arancel a cobrar a los usuarios. • Establecimiento de la estructura del sistema de subsidio. • Propuesta contrato requerido entre la empresa de servicios y los usuarios, considerando el rol del Estado en caso de ser necesario. • Propuesta de la logística de abastecimiento de materia prima. • Establecimiento de la metodología de operación. • Establecimiento del modelo para realizar las mantenciones al sistema.
Analizar la factibilidad técnica y económica de conexión de las edificaciones aledañas al sitio de emplazamiento del proyecto.	10.5	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis costo-beneficio de su conexión en base a demanda térmica y distancia.
Analizar la factibilidad técnica y económica de conocer futuras edificaciones próximas al sitio del proyecto, a ser construidas.	8.1.3 10.1	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de un radio de distancia dentro del cual se hace factible, en términos económicos, la conexión de edificaciones al sistema.
Elaborar los términos de referencia para la siguiente fase de este proyecto, consistente en la licitación de la ingeniería de detalle, construcción y operación del proyecto.	11	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de los términos de referencia para un llamado a licitación de la siguiente etapa del proyecto, consistente en obtener la ingeniería de detalle, construcción y operación del sistema de calefacción distrital y ACS en base a ERNC para la nueva urbanización del sector Escuela Agrícola de Coyhaique.

3 Cadena de producción para la generación de energía térmica

En la siguiente figura se muestra la cadena de producción de energía térmica desde el aprovechamiento del bosque hasta la cobranza de energía térmica a los usuarios. Se pueden distinguir cuatro componentes que están estrechamente vinculados:

- **Abastecimiento de biomasa:** El abastecimiento seguro, económico y constante de materia prima de alta calidad es un determinante para asegurar la producción de energía térmica a un precio económico.
- **Planta de biomasa:** En la planta de biomasa, se convierte la biomasa (leña, astillas, pellets, etc.) en energía térmica, necesaria para la calefacción y ACS de las viviendas.
- **Calefacción distrital:** Con una red de tubería, se distribuye la energía térmica y agua caliente a las viviendas que están conectadas a la red.
- **Usuario:** Es el cliente principal que compra la energía térmica y el agua caliente.

Figura 1: Vista general de la cadena de producción de energía térmica



Se pueden distinguir varios procesos desde el aprovechamiento del bosque hasta la cobranza de la energía térmica para la operación eficiente y eficaz de una calefacción distrital, donde cada elemento requiere de ciertas competencias y experiencias de distintos actores. Para el

abastecimiento de la biomasa, se definen tres procesos: 1) Aprovechamiento del bosque, 2) conversión y almacenamiento, y 3) transporte y logística. La planta de biomasa implica la operación, el mantenimiento y servicio de la misma; el suministro, la venta de energía térmica y la cobranza constituyen los tres últimos componentes. La colaboración mutua entre los actores involucrados en cada proceso es primordial para garantizar una operación rentable y segura de la planta de biomasa y de la calefacción distrital.

4 Descripción del procedimiento

Para lograr los objetivos propuestos, el estudio contiene seis fases, las cuales son descritas en el siguiente cuadro. Cada una de estas fases va a ser considerada en un capítulo, donde se describirán los resultados obtenidos.

Figura 2: El procedimiento del estudio



5 Oferta de biomasa

En el presente capítulo se detallan las características de la biomasa a nivel regional y, donde la información disponible lo permite, a nivel provincial. Dada la baja densidad poblacional regional y, considerando que Coyhaique concentra el 42% del total de la población, se considera que la mayoría de los parámetros descriptores generales, aplican a nivel particular para la zona de interés de este estudio.

5.1 Estructura y organización del bosque

5.1.1 Superficie y ubicación

Superficie

La superficie total de bosques en la región de Aysén supera los 4.8 millones de hectáreas, de los cuales más del 99% son bosques nativos. De éstos, más de 2 millones de hectáreas corresponden a superficies del Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas (SNASPE). No existen precedentes de una gestión de explotación de este tipo con fines de abastecimiento de proyectos privados a largo plazo, sin embargo existe la figura de concesiones a privados, los cuales esporádicamente presentan proyectos de aprovechamiento forestal y turístico. Las plantaciones figuran con solamente 43.741 ha (ver Tabla 2).

La región de Aysén no cuenta con superficie de plantaciones en régimen de cosecha, lo cual es revelado por las estadísticas de CONAF (2012) y CNE (2008). La reforestación es nula y la plantación ha tenido un progreso errático en los últimos años. Debe considerarse que, por ley, en Chile la reforestación es obligatoria luego de una cosecha.

Tabla 2: Estimación de la superficie de bosques en la Región de Aysén.

Tipo de bosque	Superficie (ha)	%
Bosque nativo	4.815.532	99,1
Plantaciones	43.741	0,9
TOTAL	4.859.273	100

Fuente: Urrejola, 2004

En términos concretos, se estima que la superficie de bosques nativos productivos en la Región de Aysén, varía entre las 768.000 ha¹⁾ y 1.328.000 ha²⁾. En definitiva, se estima que los proyectos dependientes de biomasa en la región de Aysén deben estar directamente vinculados al manejo de bosques nativos en su mayor proporción.

Tipos Forestales y ubicación

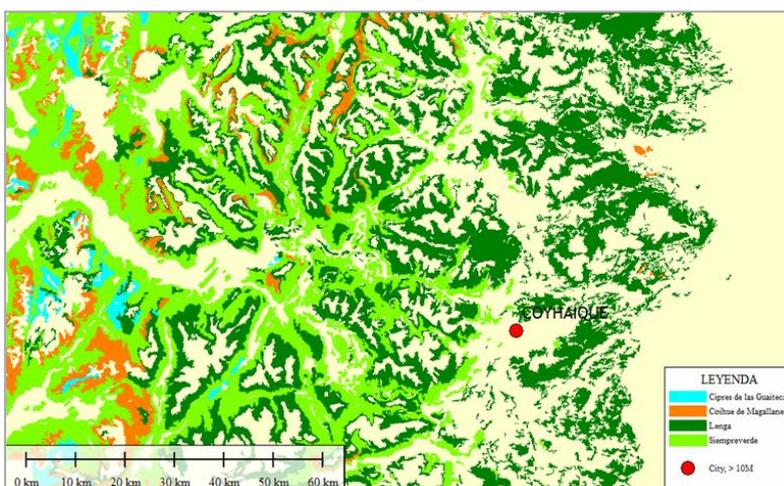
La siguiente tabla y figura muestran los cuatro tipos forestales en los bosques nativos de la XI región. Alrededor de Coyhaique, se encuentran solamente los tipos forestales "Lenga" y "Siempreverde".

Tabla 3: Superficie de Bosques Naturales por Región.

Tipo Forestal	Superficie (ha)	(%)
Ciprés de las Guaitecas	514.105	11
Lenga	1.440.703	30
Coihue de Magallanes	578.943	12
Siempreverde	2.281.781	47
TOTAL	4.815.532	100

Fuente: Infor 2012

Figura 3: Tipos forestales presentes en torno a la ciudad de Coyhaique



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Catastro Nacional de Bosque Nativo.

1) Urrejola, 2004.
 2) CNE, 2006: Esta aproximación se deriva de restar del total la superficie de bosques inaccesibles, en estado de desarrollo temprano o achaparrados, con baja cobertura de copas o de estructura no apta para manejo.

En la siguiente tabla, se muestra la superficie de las plantaciones en la región de Aysén.

Tabla 4: Superficie de plantaciones en la región de Aysén.

Tipo Forestal	Superficie (ha)	(%)
Eucalyptus nitens	4,5	< 1
Pinus ponderosa	23.534	54
Pseudotsuga menziesii	4.584	10
Otras especies	15.617	35
TOTAL	43.741	100

Fuente: Infor 2012

5.1.2 Propiedad e infraestructura

Propiedad

Respecto a la tenencia de la tierra, se distingue entre pequeños propietarios y otros propietarios. Un pequeño propietario en la región de Aysén es una persona / institución que tiene un predio de superficie menor a 800 ha, en contraste con un pequeño propietario de la región de Los Lagos donde su predio no debe exceder las 200 ha³⁾.

En los últimos años se ha establecido que el bosque está principalmente en manos de pequeños propietarios (ver Tabla 5). Como antecedente relacionado al tamaño de los propietarios del recurso, se puede observar las tasas de forestación que, por ley, se clasifican según el tamaño del propietario ejecutor, por lo que están consideradas las concesiones de particulares en terrenos fiscales. Así, de acuerdo a CONAF, en los últimos 14 años un 68,9% de las forestaciones en la región fueron ejecutadas en terrenos en manos de pequeños propietarios.

3) CONAF 2012, Bases postulación ley 20.283

Tabla 5: Superficie [ha] forestada y reforestada en la región de Aysen.

Año	Sub total		Pequeños propietarios			Otros propietarios		
	Forestada	Reforestada	Forestada (1)	Reforestada	Sub total	Forestada (2)	Reforestada	Sub total
1998	1.657,6	-		s/i	s/i	s/i	s/i	s/i
1999	1.809,2	-		s/i	s/i	s/i	s/i	s/i
2000	1.474,3	-	468,6	-	468,6	1.005,7	-	1.005,7
2001	2.451,0	-	1.429,2	-	1.429,2	1.021,8	-	1.021,8
2002	2.600,2	-	1.534,0	-	1.534,0	1.066,2	-	1.066,2
2003	2.929,4	-	1.881,1	-	1.881,1	1.048,3	-	1.048,3
2004	3.594,5	-	2.654,4	-	2.654,4	940,1	-	940,1
2005	2.820,6	-	2.735,4	-	2.735,4	85,2	-	85,2
2006	2.547,0	-	2.388,0	-	2.388,0	159,0	-	159,0
2007	2.298,0	-	1.239,6	-	1.239,6	1.058,4	-	1.058,4
2008	500,5	-	267,5	-	267,5	233,0	-	233,0
2009	734,5	-	380,8	-	380,8	353,7	-	353,7
2010	1.049,9	-	450,6	-	450,6	599,3	-	599,3
Promedio	2.035,9		1.402,7		1.402,7	688,2		688,2

Fuente: CONAF, 2012

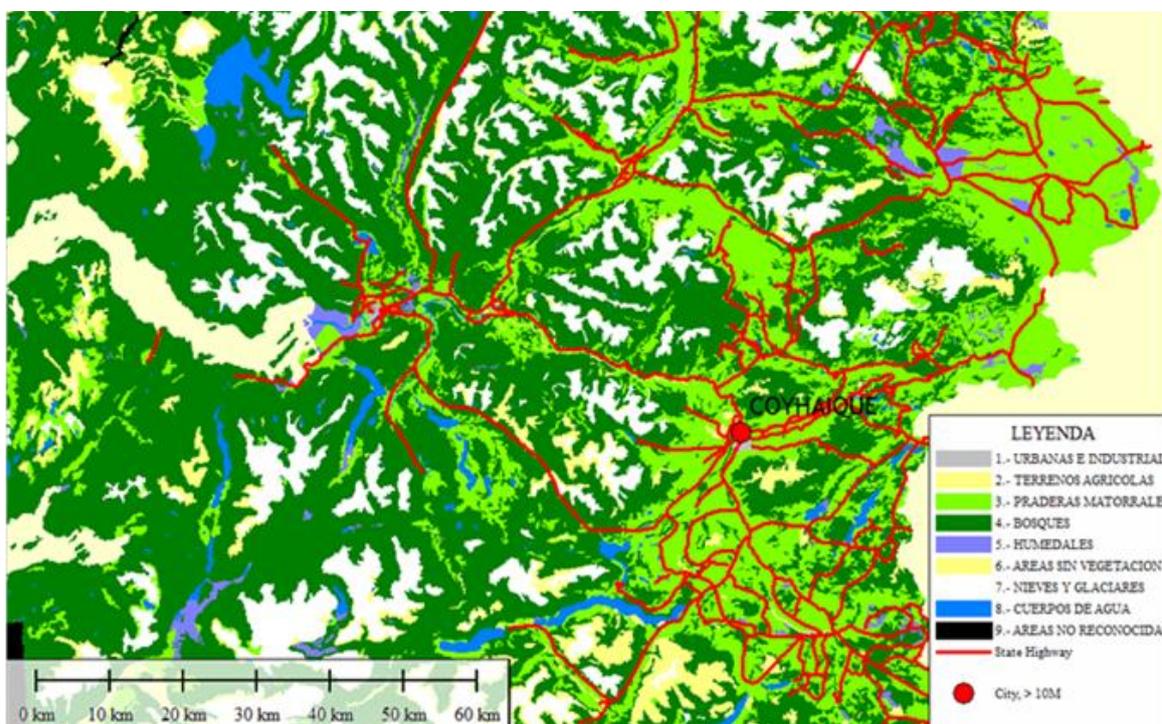
Infraestructura en el bosque

Coyhaique está rodeada principalmente por praderas degradadas (matorrales), producto de la deforestación histórica para habilitación ganadera⁴. Esto ha distanciado las masas boscosas, que originalmente colindaban con el emplazamiento actual de la ciudad, en un rango aproximado de 5 a 10 km. Además la infraestructura caminera se observa bastante desarrollada, con excepción del cuadrante SO. Es importante destacar que esto se refiere a la infraestructura caminera general de la zona. Una complicación reconocida por los actores consultados es la escasez y alto costo de construcción de caminos internos en los predios con potencial forestal⁵.

4) Catastro Nacional de Recursos Forestales e imágenes satelitales, 2012.

5) CNE 2006.

Figura 4: Tipo de Uso de Suelo e Infraestructura Caminera.



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Catastro Nacional de Bosque Nativo (CONAF 2012 b).

5.1.3 Organización de los actores forestales

En los siguientes puntos, se describe a todos los actores forestales de la región:

- **Comerciantes de leña:** En función de la metodología aplicada en el Acuerdo de Producción Limpia (APL) Leña de 2010 (CPL, 2010), existirían aproximadamente 150 comerciantes de leña en la ciudad de Coyhaique, los que generarían aproximadamente 250 empleos permanentes y 140 temporales⁶⁾. De este total, y de acuerdo a la información entregada por el Consejo de Certificación de Leña de Coyhaique, el número de comerciantes certificados asciende a 20 (13,3%). Es importante mencionar que, en términos relativos, esta región es de aquellas con mayor número de comerciantes que han seguido los procesos de certificación, como los APL, lo cual da una idea del interés por estos procesos. Los comerciantes de leña informal constituyen un sector muy importante. Sin embargo, derivado de los datos de comerciantes formales, se puede estimar una participación del 86,6% en términos de número de comerciantes sin estructura formal.
- **Propietarios de plantaciones:** 68,9% de las plantaciones establecidas en los últimos 16 años están en manos de pequeños propietarios.

6) AIFBN, 2009.

- **Empresas Forestales:** Sólo CMPC aparece como un actor relevante en términos de propiedad patrimonial en la región. En términos de influencia, es un actor pasivo y más relacionado organizacionalmente a nivel nacional con la Corporación de la Madera, que con iniciativas locales. La misma situación se vislumbraba para Hol Chile, empresa dedicada al foliado de maderas y con cierta notoriedad local, con una relevancia económica muy inferior. Al momento de efectuar el levantamiento de terreno para este estudio, las actividades industriales (foliado de maderas nativas) de esta compañía estaban cerrando por problemas de mercado, dejando la opción de reinvertir su capital.
- **Aserraderos forestales:** El desarrollo económico de la zona ha obligado a numerosos aserraderos permanentes a cerrar en los últimos años. Esto ha derivado en que el consumo local se vea principalmente abastecido por aserraderos portátiles.
- **Instituciones públicas:** Coyhaique como capital regional, cuenta con presencia de todas las Seremías regionales, CORFO y otros estamentos relacionados con el sector por su rol regulador y subsidiario. Históricamente la región ha tenido una relación de dependencia con el Estado por su aislamiento y carácter colono.

Importancia de los actores forestales

La historia de los actores forestales en la región de Aysén ha ido variando en el tiempo, pasando de una época "de oro", con producciones de hasta 22.400 m³/anual, con una infraestructura desarrollada en torno a una superficie boscosa extensa y de buenas condiciones, hasta la actualidad, donde la industria maderera subsiste de modo esporádico, con producciones puntuales y principalmente para autoabastecimiento⁷⁾.

Es por ello, que los actores que en el pasado tenían un rol relevante, actualmente tienen un rol secundario o simplemente histórico, como lo fue la actividad maderera señalada. Esta conclusión es secundada por las estadísticas de RAEs⁸⁾ disponibles, presentadas anteriormente.

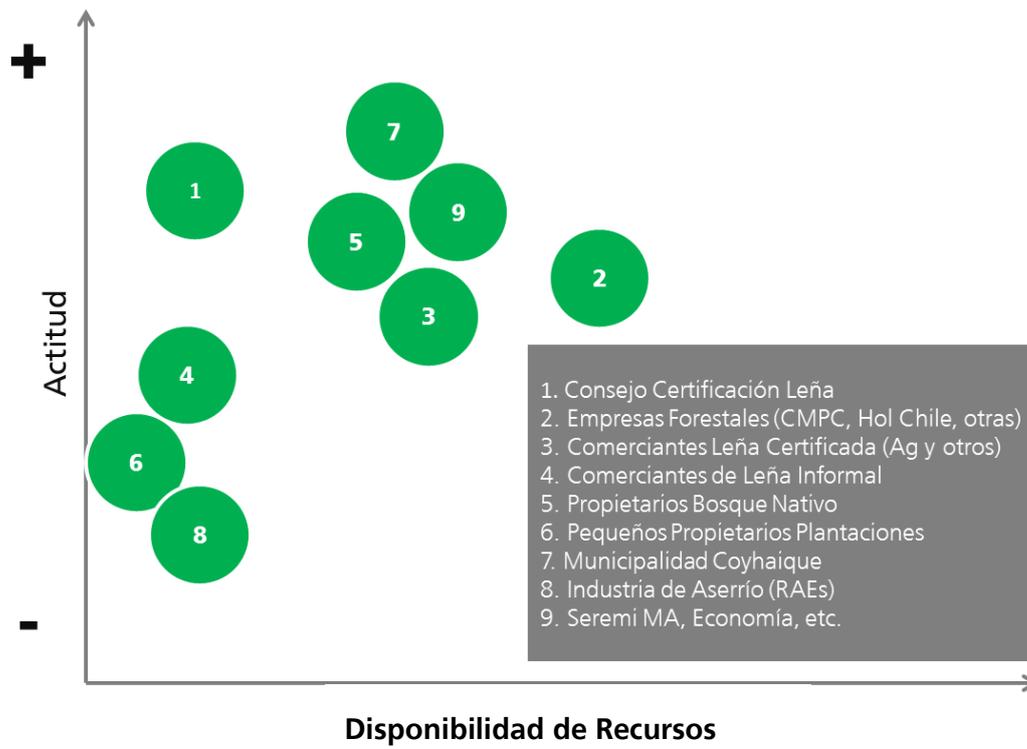
El sector maderero se ha visto relegado en importancia y los actores forestales de mayor relevancia para efectos de este estudio, son aquellos directamente vinculados con la propiedad de bosques, la comercialización de leña y las entidades público-privadas asociativas.

Además, se debe considerar el carácter aislado de la región, de difícil acceso terrestre, caracterizado por una historia de colonialismo, lo cual derivó en una fuerte presencia estatal en términos de servicios y una dinámica de subsidios, ejemplificado en las asignaciones de zona y en la evidente atención de la ciudadanía a la relación de soporte con los organismos públicos, manifestada en las exigencias recientes de movilizaciones generales en demanda de apoyo estatal a principios del año 2012.

7) Saez 2009, 2011 Infor.

8) Desechos Industriales

Figura 5: Relevancia relativa de actores identificados.



Es por ello, que es esperable encontrar escasas iniciativas de organización en torno a los pocos polos productivos derivados de la explotación forestal. El Consejo de Certificación de Leña (COCEL) y la Asociación Gremial de Comerciantes de Leña Certificada son las dos instancias reconocidas como ejemplos de asociatividad y que pueden generar sinergias futuras.

El COCEL corresponde a una oficina sectorial de la iniciativa nacional de certificación de leña y que ha tenido éxito en diferenciar la leña manejada bajo estándares de sustentabilidad, formalidad y calidad de aquella informal, que domina todavía el mercado.

La figura anterior indica, de modo relativo, la proactividad y disponibilidad de recursos para el involucramiento en la temática de generación de calor en base a biomasa según los actores identificados preliminarmente.

5.2 Categorías y definición de biomasa

Dadas las evidentes ventajas del recurso forestal en la zona, un proyecto de calefacción distrital en Coyhaique debería operar en base a biomasa. El requisito previo es la disponibilidad de biomasa alrededor de la ciudad de Coyhaique. La siguiente tabla muestra las categorías de biomasa, su origen y algunos ejemplos.

Tabla 6: Categorías de biomasa disponible.

Categoría	Origen	Ejemplos
Bosque nativo	Pequeños y grandes propietarios.	Leña para el uso energético.
Plantaciones Forestales / Cultivos energéticos	Pequeños y grandes propietarios.	Cosechas de corta rotación, raleos comerciales y residuos de la cosecha
Desechos Industriales (RAEs)	Aserraderos permanentes y móviles, mueblerías, plantas de remanufactura.	Corteza, lampazos, aserrín, despuntes, viruta.
Residuos del Manejo del Bosque	Residuos de cosecha del manejo forestal, habilitaciones para establecimiento, roces mecanizados de arbustivas	Fracción remanente de cosechas, coronas de canchas de torre, fajas de habilitación, raleos no comerciales, podas.

5.3 Uso actual de biomasa

5.3.1 Especies en el abastecimiento de leña

Los bosques que han sido históricamente comercializados como leña en la zona de Coyhaique⁹⁾ son principalmente nativos. Más del 90% del volumen de leña consumida en la región son de la especie Lengua (71%) y Ñirre (23%). Este aspecto es de especial trascendencia, en vista a la tendencia de regiones más al norte, donde plantaciones exóticas comparten el rol de abastecedoras de volumen para la producción de energía térmica.

El resto de las especies utilizadas como leña (6%) varía según disponibilidad, pudiendo ser Coigüe o exóticas¹⁰⁾. Según Paulo Moreno de la empresa Mininco¹¹⁾, la composición de la oferta de biomasa forestal debiera verse complementada en el futuro producto de la entrada en régimen de plantaciones de *Pinus ponderosa* y otras coníferas, establecidas en el pasado. Empresas como Mininco ya han ejecutado faenas de cosecha de estas coníferas exóticas con fines de producción de leña (200 ha en 2011), pero esto es una tendencia en estado inicial y prospectivo, por lo que no se pueden considerar estas plantaciones como una proporción de biomasa disponible de manera homogénea.

9) AIFBN 2009.

10) Urrejola, 2004.

11) Entrevista telefónica, 20 de julio, 2012.

5.3.2 Bosque nativo

En la tabla a continuación, se muestra el uso actual del bosque nativo. De acuerdo a distintas fuentes, la superficie de bosques nativos productivos potenciales en la Región de Aysén varía entre los 768.000 ha y 1.328.000 ha, solamente se aprovechó alrededor de 300.000 m³ en el año 2010. En términos de explotación directa para leña, el bosque nativo de la zona de Coyhaique es el que aporta con 95% el mayor volumen al consumo local¹²).

Hay un bajo interés por los manejos con fines de troza de alto valor: Considerando como indicador de esta fracción, la superficie bonificada por el estado para estos efectos, este llega solamente a 36,9 ha en el período 2010-2011.

Tabla 7: Consumo de trozas de bosque nativo según industria. Año 2010.

Producto (m3/año)	Total (m ³)	Porcentaje (%)
Troza debobinable	332	0.1
Troza aserrable	12.968	4.3
Leña	290.000	95.6
TOTAL Uso Actual	303.300	100

Fuente: Infor, 2012.

5.3.3 Plantaciones Forestales / Cultivos energéticos

Según las estadísticas de INFOR, al año 2010 el 100% de los **10.362 m³** consumidos como troza de plantaciones exóticas, se destinaron a la industria del aserrío. Empresas como CMPC (Mininco) han comenzado a tomar en consideración cosechar con objetivos dendroenergéticos. Esto ha derivado del desarrollo industrial de la zona y el alza de los precios de biomasa para fines energéticos.

5.3.4 Desechos Industriales (RAEs)

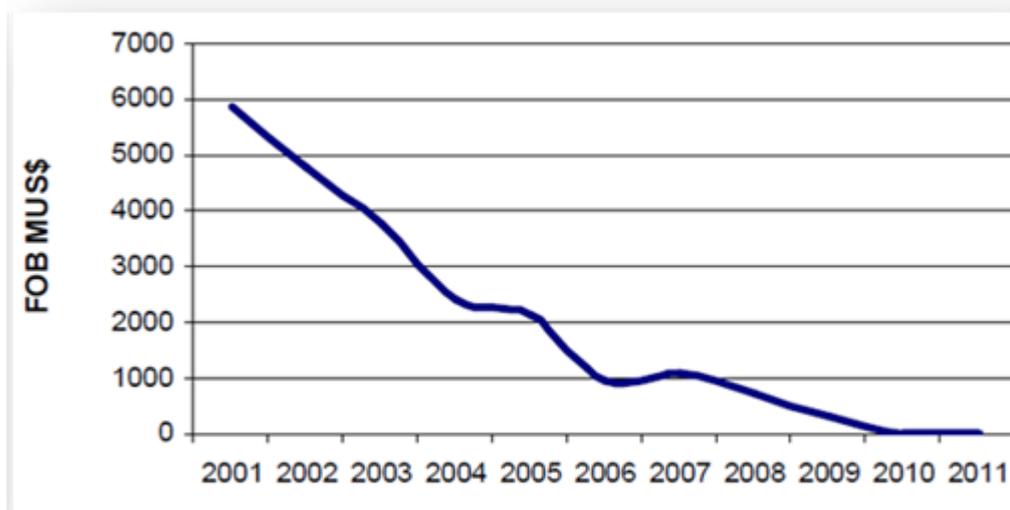
La producción maderera se encuentra fuertemente deprimida respecto a una historia reciente de altos volúmenes de producción¹³), por el impacto de las crisis internacionales y una baja en la demanda local. En términos prácticos, esto ha derivado en un escenario donde el mercado externo para las maderas nativas ha llegado a un nivel de exportaciones nulas (ver la siguiente

12) No es posible hacer una vinculación directa entre superficie y volumen de biomasa, ya que la extracción de productos maderables en la zona, deriva de manejos intermedios (raleos) de diversa intensidad (diferentes tasas de volumen por la misma unidad de superficie). La superficie mencionada corresponde al potencial aprovechable. De esta superficie una proporción alcanza a corresponder a los 300Mm³ de trozas consumidos de acuerdo a la tabla 7.

13) Saez, 2009.

figura) y una capacidad de elaboración muy reducida¹⁴). Un ejemplo de la reducida capacidad instalada es que el cierre en 2005 del mayor aserradero de la época – Maderas Aysén-, por factores internacionales y de problemas de abastecimiento, hizo caer en un 50% las exportaciones de la región.

Figura 6: Exportaciones de madera aserrada en Aysén. Período 2001-2011¹⁵).



Fuente: Infor, 2011.

Como antecedente, se estima que la demanda local de trozas aserradas se vería abastecida sólo con la producción de los aserraderos móviles, que en la actualidad suman 12 y con producción individual inferiores a 200 m³/año. En la siguiente tabla, se presenta el total de RAE que la región ha producido anualmente en el último tiempo. En el año 2010, se ha producido alrededor de **13.000 m³** de desechos industriales.

14) Infor, 2009.

15) Infor, 2011.

Tabla 8: Producción Aserraderos (Permanentes y Móviles) Región Aysén.

Año	Volumen producción (m ³)	Volumen RAE (m ³)
2006	13.454	14.121
2007	12.730	13.441
2008	10.505	11.095
2009	10.457	10.946
2010	12.483	12.916

5.3.5 Residuos del manejo del Bosque

Como se comentó en el punto 5.3.2, la fracción derivada del manejo del bosque es mínima para el bosque nativo. De acuerdo a la información entregada por actores como CMPC-Minanco, relacionados con las plantaciones, el volumen derivado de raleos está en sus etapas iniciales, con una proyección creciente en los próximos años.

5.3.6 Conclusión

La siguiente tabla muestra el uso actual de biomasa en todas las categorías, de la cual se deduce:

- La fuente más importante de leña es el bosque nativo. De la superficie de bosque nativos en la Región de Aysén (entre las 768.000 ha y 1.328.000 ha) se aprovecha solamente 303.000 m³.
- La superficie de las plantaciones es de alrededor de 43.700 ha de las cuales solamente se aprovecha alrededor de 10.400 m³.
- La mayoría de los aserraderos de la región han sido cerrados en los últimos años porque sus productos no son competitivos en el mercado. La producción de los desechos industriales es de alrededor de 12.000 m³.
- Los residuos del manejo del bosque todavía no están siendo aprovechados en este momento. No existe mercado local que podría aprovechar esta biomasa.

Tabla 9: Uso actual de biomasa.

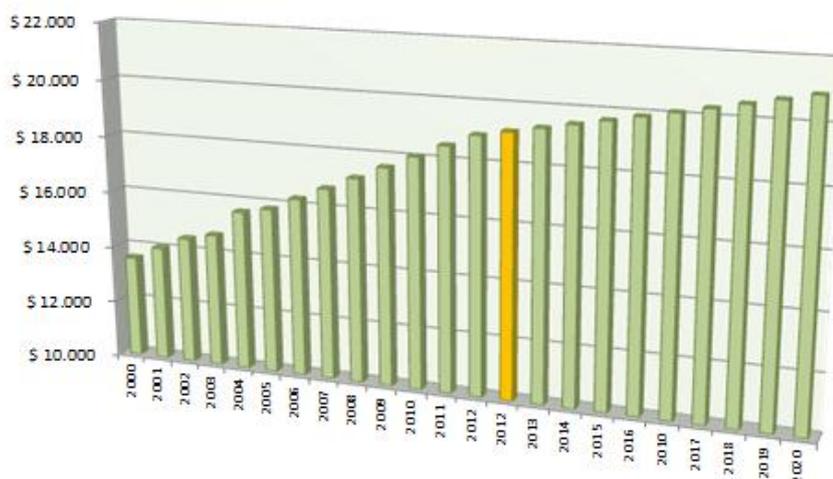
Categoría	Uso actual de biomasa (en m ³)	Productos
Bosque nativo	303.000	290.000 m ³ leña, el resto son trozas
Plantaciones Forestales / Cultivos energéticos	10.400	Trozas
Desechos Industriales (RAEs)	12.000	Desechos industriales
Residuos del Manejo del Bosque	-	-

5.4 Precios de biomasa y tendencias

5.4.1 Precio de la leña

En la siguiente figura se muestran los precios de la leña en Coyhaique en los años 2000 – 2020. En el año 2000, el precio de 1 m³ de leña era 13.585 CLP. En el año 2011, el precio de 1 m³ ha subido hasta 18.520 CLP. Es un crecimiento del precio de 27% en los últimos 11 años. Se estima un crecimiento de 1% anual en los próximos años. Así, el precio de la leña sube hasta el año 2020 a 20.922 CLP/m³. La metodología de proyección de precios futuros se basa en la extrapolación de la variación observada en la serie 2004-2010, la cual llega a un 1% de incremento anual (CDT, 2010).

Figura 7: Evolución Histórica y Proyección de Precios de Leña¹⁶.



Fuente: Elaboración propia.

Dado el bajo precio del insumo leña, se debe considerar que es un recurso difícilmente reemplazable en la zona sur del país y en particular en la región de Aysén.

Considerando la evolución de los precios de combustibles líquidos que se presenta más adelante, la brecha entre las opciones de combustible para calefacción se ha profundizado, lo que obliga a orientar los esfuerzos en optimizar el uso de la biomasa mediante tecnología de combustión y manejo del combustible, más que en buscar sustitutos.

Los precios de la leña no tienen correlación con los precios de combustibles sustitutos. Los precios de la leña en Coyhaique están influidos por los siguientes factores:

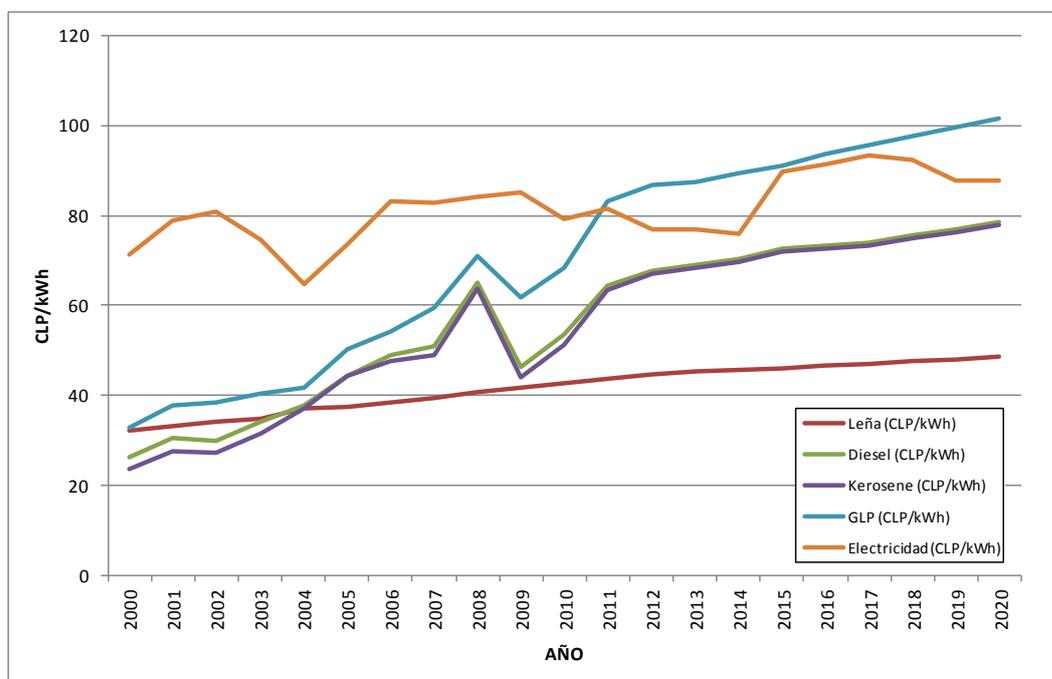
- *Programas de intervención estatal:* El Estado ha subsidiado una fracción del consumo residencial, estableciendo un bono de leña que consiste en la entrega de 4 m³ por hogar, para familias vulnerables, que postulen al beneficio. Esta iniciativa ha generado un poder comprador que ha fijado un precio de referencia de \$25.000/m³ para la leña certificada.
- *Costo de transporte:* La intervención de rodales cada vez más alejados de las zonas de consumo están impactando de manera cada vez más influyente en la estructura de costos de los productores de leña.

5.4.2 Precios de combustibles sustitutos

En Chile, los combustibles que pueden sustituir a la leña como generador de energía térmica, son principalmente diesel, kerosene, gas licuado (GLP) y electricidad. En la siguiente tabla, se muestra la evolución de los precios de combustibles sustitutos entre 2000 – 2020 en Coyhaique.

16) Elaboración propia en base a revisión de prensa

Figura 8: Precios de Combustibles Sustitutos Comparado (Histórico y proyectado)



Fuente: Elaboración propia en base a datos de CNE

5.4.3 Comparación entre biomasa y combustibles sustitutos

La leña, si se compara con los combustibles sustitutos, tiene las siguientes ventajas:

- *Energía renovable y regional:* Es un recurso renovable, ampliamente percibido y reconocido como parte clave en las políticas de desarrollo sustentable, cuando está enmarcada en las regulaciones correspondientes.
- *Ambientalmente amigable:* Neutral en el balance de huella de carbono. Es ambientalmente amigable si se usa correctamente.
- *Económicamente competitivo:* Respecto a sus sustitutos, representa una estabilidad en el precio, muy atractivo.
- *Versátil:* La gran variedad de formatos y orígenes de biomasa.
- *Empleo e ingresos para la gente de la zona:* No debe dejar de considerarse la integración económica del subsector leña en el desarrollo local, lo cual genera una percepción positiva respecto a este insumo, potenciado por iniciativas ya en avance (COCEL) y una convivencia histórica con el recurso.

Pese a esto, llama la atención la apertura en la región de Aysén para cambiar sus preferencias en el combustible, teniendo una mayor disposición a cambiar a gas licuado que la mayor parte de

las ciudades del sur. Sin embargo, no hay que dejar de ver que un 61,3% no estaría dispuesto a tal cambio (Tabla 10).

Tabla 10: Disposición a cambiar leña por otros energéticos.

Cambiaría leña de manera:	Aysen (%)	Rancagua (%)	Concepción (%)
Parcial	15,5	4,4	2,3
Total	23,1	4,9	6,5
No la cambiaría	61,3	90,7	91,2
Total	100	100	100

Fuente: Gomez-Lobo et al 2006.

6 Potencial económico de biomasa

6.1 Definición

El presente estudio, se centra solamente en el potencial económico de la biomasa que está ubicada en las cercanías y alrededor de la ciudad de Coyhaique. El potencial económico es la cantidad de biomasa que está “efectivamente” disponible hoy y en el futuro. En este potencial, se toma en cuenta las restricciones técnicas y legales, las zonas protegidas del bosque y la demanda existente actualmente. El potencial teórico no puede ser 100% accesible por las siguientes razones: hay bosque que se encuentra en topografías con difícil acceso o falta la infraestructura para su aprovechamiento forestal. En este tipo de bosques el aprovechamiento de la biomasa tiene un costo demasiado elevado.

6.2 Método

La problemática energética y medioambiental, así como las condiciones de contaminación y aislamiento de Coyhaique, han derivado en una amplia base de estudios que caracterizan el sector y evalúan el potencial de opciones basados en biomasa. De esta manera, el enfoque inicial de este estudio se ha basado en la revisión y sistematización de la información disponible de fuentes, tales como Instituto Forestal, Comisión Nacional de Energía, Consejo de Certificación de Leña y la Corporación Nacional Forestal.

6.3 Demanda actual

En la región de Aysén, la demanda de leña es alrededor de 500.000 m³/año. Un hogar consume en promedio 18 m³/año, bastante más que los 8.0 m³/año de la región de Los Lagos o los 6.3 m³/año en la región de la Araucanía, debido fundamentalmente al clima extremo de la región de Aysén. En términos relativos, Aysén es la región con mayor porcentaje de leña comprada sobre consumida, bordeando el 100% de consumo de leña para calefacción, donde casi el 94% de los hogares en Coyhaique compran leña.

El consumo de leña en la ciudad de Coyhaique alcanza los 290.000 m³ sólidos en el año 2008, lo cual representa el 98,2% de las viviendas de la ciudad. Tal como se mencionó anteriormente,

este volumen corresponde a un alto nivel de consumo individual, en términos relativos a otras ciudades del sur de Chile¹⁷).

Tabla 11: Consumo de Leña por Hogar, según región.

Región	% hogares en la encuesta que compran leña	% leña comprada sobre consumida
VI	24.70%	82,47%
VIII	60.90%	85,19%
VIII	41,72%	84,55%
IX	58,29 %	86,87%
X	75,05 %	77,78%
XI	93.38%	99,82%

Fuente: CNE, 2006

Demanda en el futuro

De acuerdo al trabajo de Gomez (2006), el consumo a futuro de la sección residencial de Aysén, se mantendría en el orden de los 290.000 m³/año. Además, es interesante considerar la fracción de grandes consumidores, es decir los institucionales - comerciales y los industriales podrían incrementarse por esta fracción. Así, considerando un ratio de consumo residencial/comercial-institucional de 5.5 para la zona de Aysén¹⁸), los consumidores institucionales-comerciales en Coyhaique podrían llegar a 36.587 m³/año y los industriales a 3.107 m³/año¹⁹).

6.4 Potencial económico de las fracciones

De acuerdo a Infor (2006), el potencial de volumen a producir con fines energéticos es alrededor de 298.000 m³/año (ver Tabla 12), el que constituye un potencial del 100% disponible para el uso energético. Este dato deriva de:

- La estimación de bosques nativos existentes, descontando aquellos inaccesibles (sobrependiente), de mala forma y aquellos ubicados en parques nacionales.
- Determinación de superficie de plantaciones, descontando zonas con sobrependiente.
- Estimación de superficie forestable, excluyendo superficie de parque nacionales y con sobrependiente.
- Los supuestos de crecimiento son: 4m³/ha/año para bosque nativo, y 8 m³/ha/año para plantaciones actuales y potenciales.

17) Saez 2009; Infor (2004, citado por Gomez-Lobo et al, 2006).

18) Gomez-Lobos et al (2006).

19) Gomez-Lobos et al (2006).

- Los supuestos de utilización del mismo estudio son de un 20% de la superficie de bosque nativo y 10 % para plantaciones actuales y potenciales.

El análisis considera una distancia económicamente viable de 50 km en torno a la ciudad de Coyhaique²⁰. Se debe tomar en cuenta, que este escenario considera un valor de la leña de un 60% más barato que en la actualidad, lo que involucraría una disponibilidad mayor en un escenario actualizado (ver 5.4.2).

En consideración a que la disponibilidad de superficie comercial llega a 372.000 ha, aplicando tasas de intervención iguales a las de crecimiento para garantizar un uso sustentable del recurso y a un factor de utilización acorde a las condiciones de cada tipo forestal, la siguiente tabla resume el origen del volumen potencial para proyectos dendroenergéticos en Coyhaique.

Tabla 12: Volumen disponible para proyectos dendroenergéticos.

Fuente	Superficie de potencial (ha)	Tasa de crecimiento (m ³ /ha/año)	Utilización para leña (%)	Volumen disponible (m ³)
Bosque nativo	178.837	4	20%	143.000
Plantaciones Forestales	19.958	8	10%	16.000
Plantaciones energéticas	173.850	8	10%	139.000
TOTAL	372.645			298.000

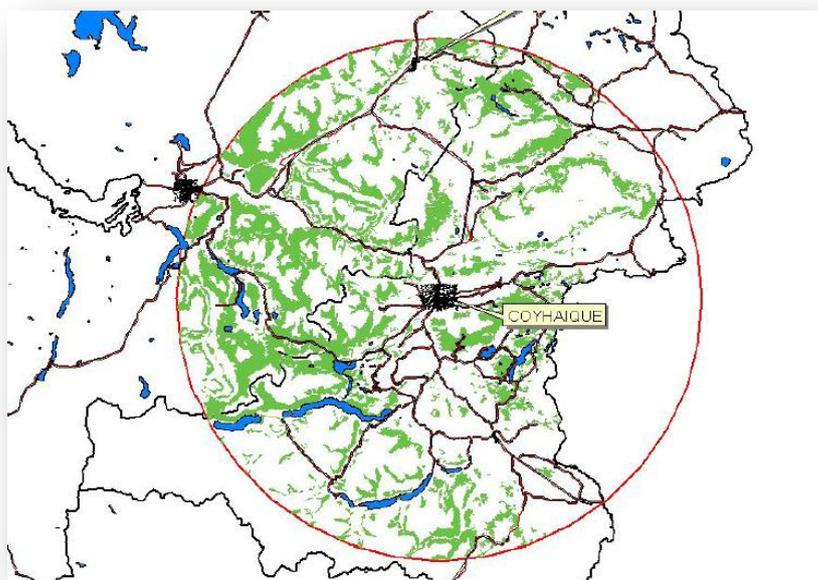
Fuente: Infor 2006 y Infor 2012

20) Infor, 2006

6.4.1 Bosque nativo

Se entiende que el bosque comercial explotable llega a una superficie de 178.837 ha.

Figura 9: Distribución de Bosques Comerciales en torno a la ciudad de Coyhaique



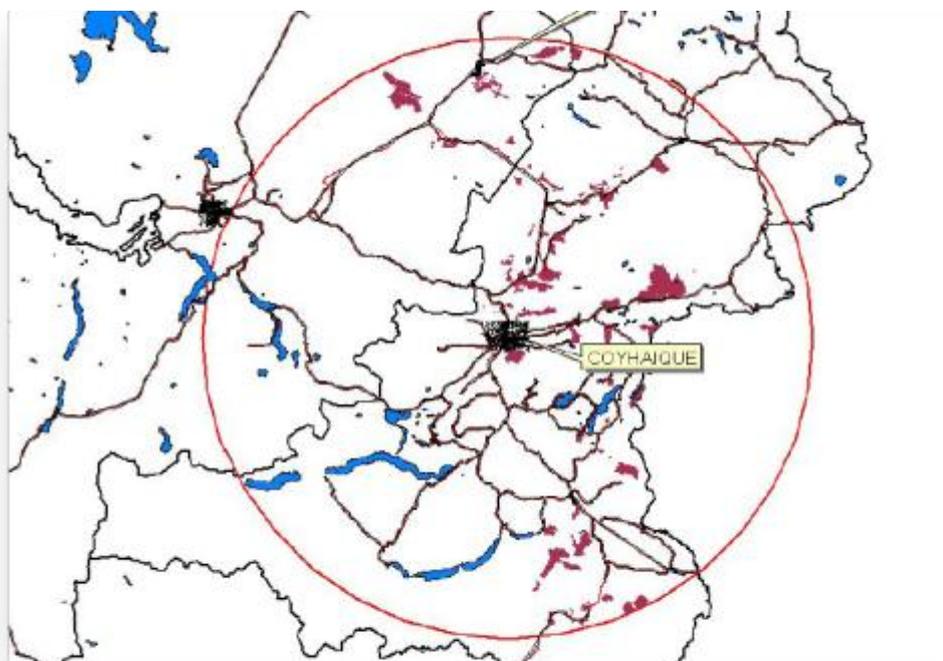
La economía forestal está basada en la explotación de bosques nativos, específicamente del tipo forestal Lengua, el cual abastece el 97% de la madera aserrada de la región. Este subsector se encuentra estancado por factores limitantes, tales como:

- Ausencia de política de fomento específica. Hasta la promulgación de la Ley de Fomento del Bosque Nativo, zonas aisladas como Aysén, no desarrollaron el recurso.
- La producción maderera de calidad es de alto costo en esta región, producto de las distancias de transporte, topografía, etc.
- Existe poco conocimiento sobre manejo, extracción y producción de estos bosques de modo sustentable.

6.4.2 Plantaciones Forestales

La superficie de plantaciones establecidas llegaría a un total de 19.958 ha.

Figura 10: Distribución de Plantaciones en torno a la ciudad de Coyhaique

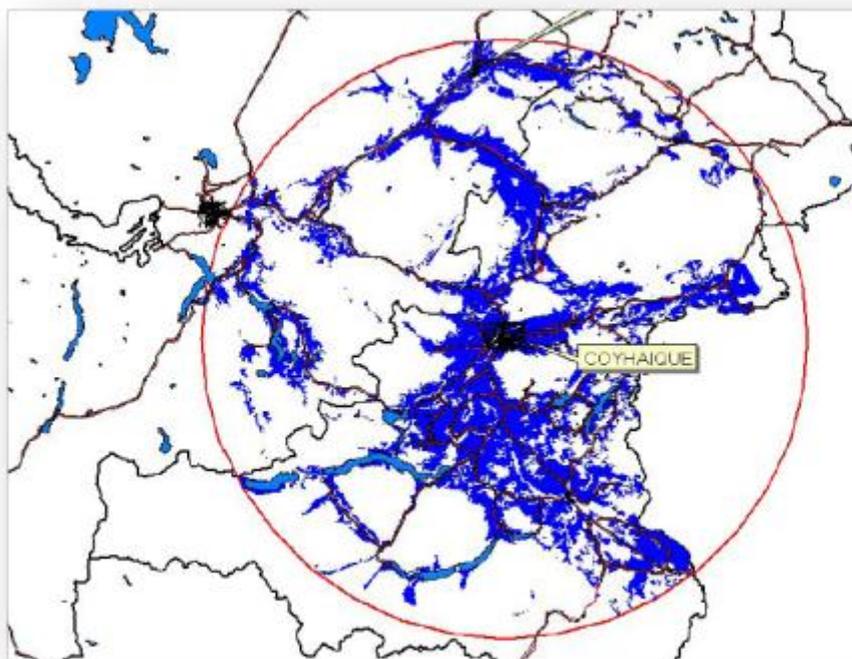


Fuente: Infor, 2006.

Respecto a las plantaciones, estas están en desarrollo, sin entrar en régimen. El establecimiento de éstas comenzó en los años 50, con fines de control de erosión, producto de la deforestación indiscriminada para la habilitación de superficie para ganadería que data de inicios del siglo XX en el proceso de colonización. Las cifras anteriormente presentadas avalan este diagnóstico.

Derivado de esto último, la superficie forestable es muy extensa. El Catastro Nacional estima en 1.2 millones de hectáreas la superficie originalmente deforestada en la región de Aysén y que, para efectos de esta estimación, es equivalente a la superficie potencialmente forestable. La superficie con potencial de forestación llegaría a un total de 173.850 ha. El análisis considera una distancia económicamente viable de 50 km en torno a la ciudad de Coyhaique.

Figura 11: Superficie con potencial de forestación en torno a la ciudad de Coyhaique.



Fuente: Infor, 2006.

6.4.3 Residuos Aprovechables Energéticamente (RAE)

Según INFOR los RAEs son un componente de alto potencial a nivel general, pero la realidad local de Coyhaique los posiciona de un modo particularmente minoritario (0,3% del nacional) con 12.500 m³/anual promedio en el período 2006 – 2010 y 3.413 m³/anual a nivel de la comuna de Coyhaique para aserraderos permanentes, principal opción para alternativas de abastecimiento a largo plazo en base a RAEs.

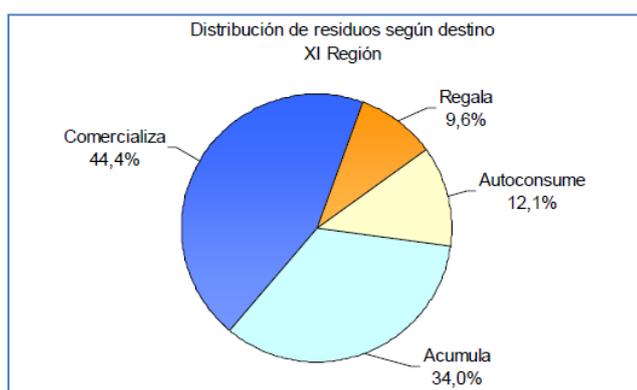
Tabla 13: Volumen Anual RAE Coyhaique (Aserraderos Permanentes)

Fracción	Volumen anual (m ³) Coyhaique	Volumen anual (m ³) La región Aysén
Lampazo aserradero permanente	1.582	2.462
Aserrín aserradero permanente	1.111	1.732
Aserrín elaboración permanente	37	37
Despunte aserradero Permanente	124	124
Viruta as. Permanente	87	87
Corteza	472	763
TOTAL RAEs	3.413	5.205

Fuente: CNE, 2007

Según Infor (2006), la distribución en el uso de RAE's general (considerando aserraderos móviles y permanentes), es la siguiente:

Figura 12: Utilización de residuos madereros en la región de Aysén



Fuente: Infor 2006.

6.5 Recomendaciones para asegurar el abastecimiento de biomasa

6.5.1 Factores relevantes

Para el abastecimiento, deben ser tomados en consideración los siguientes factores relevantes:

- La superficie de bosques nativos es abundante, pero existen restricciones de acceso, distancia y propiedad que limitan el potencial total pero dada la gran superficie existente, sería suficiente para mantener el abastecimiento actual de la ciudad de Coyhaique.
- Existe un desafío técnico para lograr que los volúmenes requeridos sean obtenidos de manera sustentable y en condiciones tales que aporten a la descontaminación de la ciudad.
- Las plantaciones forestales, escasas en superficie, pueden comenzar a producir biomasa para fines energéticos en el corto plazo, principalmente derivado de los manejos que recién se están comenzando a ejecutar
- Existe una gran superficie deforestada, hoy en desuso que podría ser objeto de plantaciones dendroenergéticas en el corto plazo.

Para el uso de la biomasa, deben ser tomados en consideración el siguiente factor relevante:

- Existe una fuerte dependencia histórica por el recurso leña, pero sin embargo una predisposición al cambio. De acuerdo a la información recabada en nuestras reuniones con actores locales de diferentes estratos, el estrato socioeconómico de menores ingresos tendría más dificultades para cambiar, se trata del caso de los habitantes de las viviendas sociales del proyecto de Escuela Agrícola. El grupo más proclive a cambiar es usualmente originario de otras ciudades, habiéndose asentado en Coyhaique recientemente. Esta es la situación de las familias de funcionarios del Ejército que quieren construir las 230 viviendas en la urbanización planificada.

Los siguientes factores relevantes deben ser tomados en consideración en relación a los actores:

- De manera tardía, se han comenzado a desarrollar asociaciones e iniciativas que permiten una gestión conjunta de la problemática dendroenergética.
- Los valores del recurso y la demanda pronostican un negocio interesante para nuevos actores, como los propietarios de plantaciones y propietarios del bosque nativo.
- El rol público subsidiario debe mantenerse en las primeras instancias, hasta que la iniciativa privada cuente con la inercia de un mercado en equilibrio.

6.5.2 Factores de éxito

En función de lo presentado, queda claro que la zona de Coyhaique tiene características particulares y que representan un potencial para los cambios que son necesarios en proyectos:

- *Familias de funcionarios del Ejército:* Las familias de funcionarios del Ejército de las 230 viviendas en la urbanización planificada están más dispuestas a usar un nuevo sistema energético en el futuro. Es una ventaja que se debe considerar en el proyecto.
- *Alto interés de actores forestales:* Hay muchos actores forestales que han manifestado su interés en colaborar en el proyecto piloto como un actor relevante para la inversión y/o planificación y gestión de la planta de biomasa y calefacción distrital. Es el caso de los productores y comerciantes de leña certificada y propietarios de bosque nativo o plantaciones de la zona. Estas organizaciones no están formalizadas como empresas de inversión o no tienen conocimiento específico en la tecnología o logística de un sistema de calefacción distrital, pero existe el conocimiento en manos de terceros que podrían asistir el inicio de operaciones para garantizar un aprendizaje adecuado.
- *Plantaciones forestales:* A diferencia de otras regiones, la venta de biomasa de plantaciones se está convirtiendo en una opción silvícola para empresas como CMPC-Mininco. Esto revela que la sustentabilidad económica de tal opción no es lejana.
- *Certificación:* Existe una base comercial formal y con un compromiso explícito con las buenas prácticas silvícolas. El mismo proceso se ha instalado en otras ciudades con un creciente número de adherentes, lo que ha impactado notoriamente el mercado de la leña²¹.
- *Ley 20.283 de fomento al manejo de bosque nativo:* Hoy puede parecer insuficiente, pero es un avance. Faltaría ajustar tablas de costos y hacer una difusión más extensiva entre los propietarios²².
- *Compromiso comunitario:* Las movilizaciones observadas durante el año 2012 revelan una capacidad de asociación de la comunidad. Esto puede tener efectos positivos en la adopción de alternativa como las calefacciones distritales como mecanismo de reducción de la contaminación y optimización del uso de biomasa.
- *Propiedad de los bosques:* Siendo el 50% de los bosques de la región de propiedad del Estado, existe la oportunidad de tomar la iniciativa de manejo sustentable de estos bosques.

21) INFOR, 2012.

22) INFOR, 2012.

6.5.3 Propuestas para el aseguramiento de biomasa

- *Vincular las calificaciones de proyectos que postulen a Ley 20.283 a proyectos dendroenergéticos:* Dado que la mayor presión por bosques de Lengua en la zona deriva del mercado de la leña, se debe priorizar el fomento a proyectos de este tipo. Más aún, si se encadena con proyectos de abastecimiento de opciones ambientalmente amistosas (como calefacciones distritales, elaboración de astillas, pellets, etc.), debiera contar con mayor prioridad y, eventualmente, mayor subsidio.
- *Potenciar las organizaciones:* Con un 13,3% aproximado de comerciantes agrupados bajo COCEL se está con un buen pie para una difusión intensiva del modelo de negocios en base a leña certificada. Estas bases asociativas son claves para desarrollar negocios de abastecimiento a largo plazo.
- *Fomentar la diversidad de formatos de biomasa:* Las astillas y pellets son fracciones prácticamente desconocidas dentro de las opciones de equipos instalados. Se debe desarrollar una industria de elaboración de estos formatos que pueda encontrarse preparada en el mediano plazo para el abastecimiento de proyectos de mayor envergadura.

7 Demanda de energía térmica

7.1 Factores que influyen la demanda de energía térmica

La demanda de energía térmica de las viviendas depende de varios factores: por un lado de las características de las viviendas, tanto del diseño como de los materiales utilizados (lo que le proporciona capacidades de aislamiento) y por otro, los factores climáticos del lugar de emplazamiento. Al no existir mucha información disponible sobre las características de las viviendas que se quieren construir en la urbanización en Coyhaique, se describen en este capítulo supuestos según los cuales se ha calculado la demanda de energía térmica y la demanda de combustible, además de la energía térmica para tres tipos de viviendas. La selección de los tres tipos de viviendas se basa en experiencias empíricas, en discusiones con la Cámara Chilena de la Construcción en Coyhaique y en los datos e información proporcionada por el Ministerio de Energía y el Ministerio del Medio Ambiente.

7.1.1 Características de los tres tipos de viviendas

En la siguiente tabla, están resumidas las características de los tres tipos de viviendas a considerar. Los cálculos para estimar la demanda energética se llevan a cabo para los tres tipos de vivienda, donde se quiere destacar lo siguiente:

- Los tres tipos de viviendas tienen la misma forma y calidad del techo. Además, tienen la misma superficie, altura y características del piso.
- La diferencia de las tres viviendas radica en el material utilizado y en el diseño de las ventanas.
- El tipo vivienda 1 corresponde a una construcción verde (transmitancia térmica de 120 kWh/m²a²³), aislamiento de vidrio doble, aislamiento térmico, marco aislado) (ver Anexo 1).
- El tipo vivienda 2 es una vivienda individual que tiene una transmitancia térmica de alrededor de 180 kWh/ m²a. (ver Anexo 1).
- El tipo vivienda 3 es una vivienda social que actualmente se encuentra ampliamente implementada en las urbanizaciones en Coyhaique con una transmitancia térmica de 298 kWh/ m²a (ver Anexo 1).

23) La transmitancia térmica [kWh / (m²a)] es un punto de referencia para describir la calidad térmica de la envolvente de la vivienda. Por ejemplo, en Suiza, las viviendas tienen la transmitancia térmica entre 100 y 300 kWh / m²a. En el estándar MINERGÍA en Suiza, los estándares son más ambiciosos: Los requisitos para los edificios se encuentran entre 38 kWh/m²a para edificios nuevos y 60 kWh/m²a para viviendas construidas antes del 2000. En comparación, la transmitancia térmica de las viviendas sociales en Coyhaique tienen casi 300 kWh / m²a.

Tabla 14: Características de las viviendas.

Características de las viviendas	Tipo vivienda 1 Valor óptimo 120 kWh/m ² a	Tipo vivienda 2 Nueva vivienda	Tipo vivienda 3 Referencia Coyhaique ²⁴⁾
Tipo de casa	Vivienda individual	Vivienda individual	<i>Vivienda social</i>
Forma del techo	Techo inclinado	Techo inclinado	Techo inclinado
Pisos	De un piso (sólo planta baja)	De un piso (sólo planta baja)	De un piso (sólo planta baja)
Calidad del techo	Techo ligero	Techo ligero	Techo ligero
Calidad exterior de los muros	Muros externos sólidos	Muros externos sólidos	Muros externos sólidos
Calidad de las ventanas	<i>Aislamiento de vidrio doble, aislamiento térmico, marco aislado</i>	<i>Aislamiento de vidrio doble, sin aislamiento térmico, marco sin aislamiento</i>	<i>Aislamiento de vidrio simple, sin aislamiento térmico, marco sin aislamiento</i>
Superficie del área energética de referencia bruta	66 m ²	66 m ²	66 m ²
Superficie de la vivienda neta	58 m ²	58 m ²	58 m ²
Altura del techo	2.7 m	2.7 m	2.7 m
Volumen	133 m ³	133 m ³	133 m ³
Sistema de calefacción	Calefacción Distrital	Calefacción Distrital	Calefacción individual

7.1.2 Aislamiento de los tipos de viviendas

El aislamiento de las viviendas (muro, ventana, techo, piso) es uno de los factores decisivos para garantizar un balance energético eficiente de la misma. En la siguiente tabla, se muestra la transmitancia térmica total del aislamiento de los tres tipos de vivienda para el muro exterior, la ventana, el techo y el piso.

Tabla 15: Aislamiento de los tipos de viviendas.

Transmitancia térmica total (U) (W/m ² K)	Tipo vivienda 1 Valor óptimo 120 kWh/m ² a	Tipo vivienda 2 Nueva vivienda	Tipo vivienda 3 Referencia Coyhaique
Muro exterior	0.22	0.3	0.6
Ventana	1.5	3.5	5.2
Techo	0.22	0.25	0.4
Piso adyacente a tierra	0.4	0.4	0.6

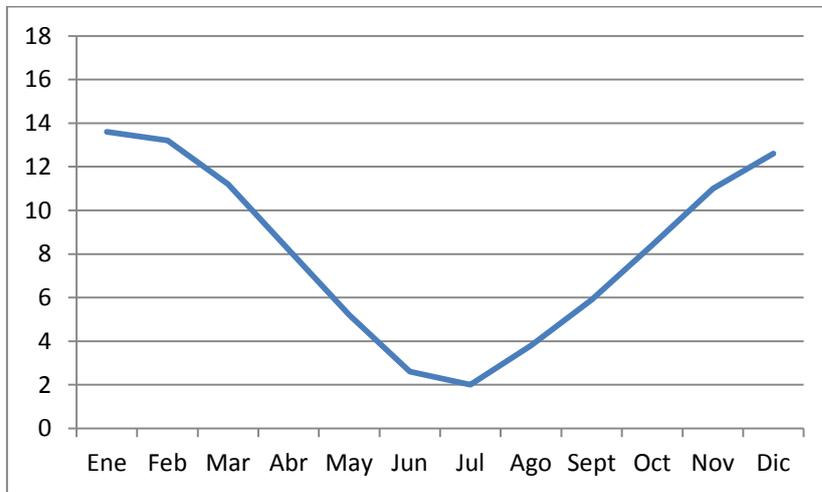
7.1.3 Factores climáticos

Entre los factores medioambientales que inciden en el cálculo térmico (*ubicación, temperatura, radiación solar, velocidad del viento, precipitación, humedad relativa*), la temperatura es el factor más importante a considerar. En la siguiente figura, se muestra la temperatura promedio mensual de Coyhaique entre los años 2000 y 2010. El promedio de la temperatura es 8,4°C; siendo junio, julio y agosto, los meses más fríos, con temperaturas promedio menores a -4°C²⁵.

24) Alejandro Cornejo, Empresario y Presidente de la Cámara Chilena de la Construcción en Coyhaique.

25) Fuente: Anuario climatológico, Dirección Meteorológica de Chile

Figura 13: Temperatura promedio mensual, en °C, Coyhaique (2000-2010).

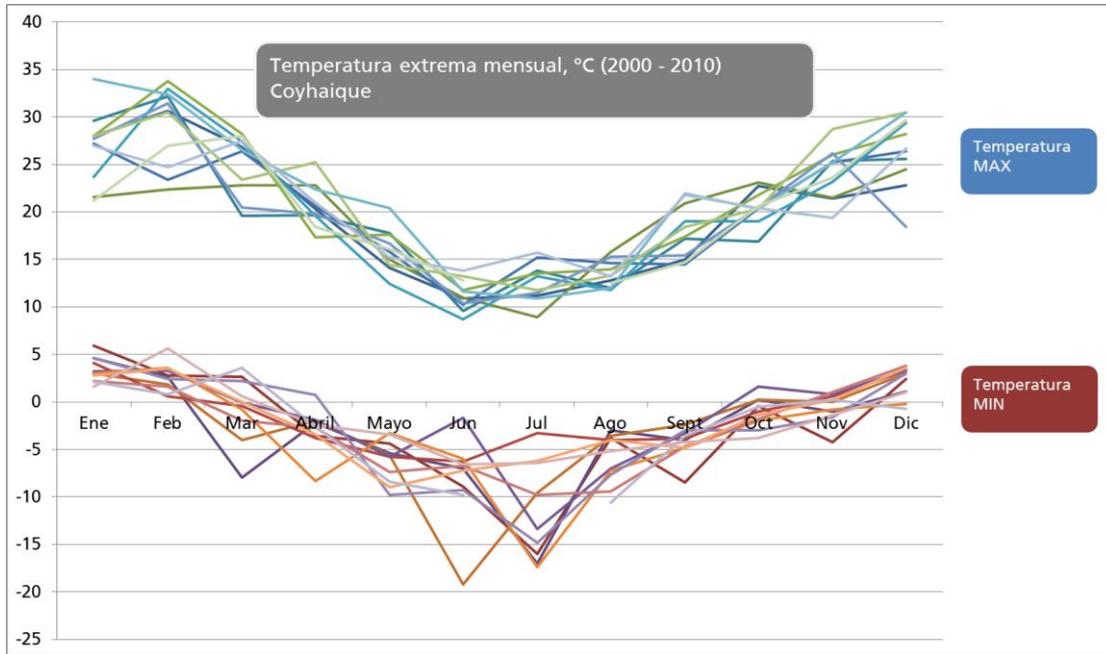


Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección Meteorológica de Chile

La siguiente gráfica muestra las temperaturas extremas mensuales entre los años 2000 y 2010, donde cada año es representado por una línea de un color determinado. Se puede observar que:

- Hay una gran amplitud térmica entre las temperaturas mensuales máximas y mínimas.
- Las temperaturas mínimas durante todo el año son menores a 5°C, llegando a -10°C entre los meses de mayo y agosto.
- Entre marzo y noviembre, las temperaturas extremas mensuales son bajo los 0°C.
- En junio 2002, la temperatura extrema más baja alcanzó -19.2°C.

Figura 14: Temperatura extrema mensual, °C, Coyhaique (2000-2010).



Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección Meteorológica de Chile

Para el cálculo de la demanda de energía térmica en las viviendas se supone que las temperaturas promedio mínimas durante tres días están en el rango de -8°C , la temperatura media del aire dentro de la casa será de 17°C . La calefacción está en funcionamiento durante 310 días al año (ver Anexo 2).

Tabla 16: Factores climáticos.

Factores climáticos	
Temperatura exterior más baja (durante más de 3 días)	-8°C
Temperatura del suelo bajo de la vivienda	3°C
Temperatura media del aire en la vivienda en uso	20°C
Temperatura media del aire en la vivienda sin uso	14°C
Temperatura media del aire en la vivienda (theta i)	17°C
Días de calefacción	310
Días de calefacción total (HGT) ²⁶⁾	3966

Fuente: Elaboración propia con datos de la Dirección Meteorológica de Chile

26) Días de calefacción: Es un índice que se genera a base de los días de calefacción y la diferencia entre la temperatura media mensual y la temperatura óptima de 20°C dentro de la vivienda.

7.2 Cálculo de la demanda de combustible y de energía térmica para los tipos de viviendas

7.2.1 Demanda de combustible²⁷⁾

La calefacción y el agua caliente requieren de combustible. En el siguiente apartado se calcula la demanda de combustible total para estos elementos en los tres casos. La metodología es la misma para los tres tipos de vivienda. A continuación se explica el procedimiento de cálculo de la demanda de combustible para la calefacción y para el agua caliente. Todos los cálculos para los tres tipos de viviendas se encuentran en el Anexo 1.

Demanda de combustible para la calefacción (incluye ventilación)

El cálculo se basa en la siguiente fórmula:

Demanda de combustible²⁸⁾ =

$$\frac{HPF \times Qtn \times 0,85 \times HGT}{(\theta_i - \theta_a) \times Hu \times \eta}$$

- HPF: Horas en pleno funcionamiento
- Qtn: Demanda energética, transmisión y ventilación²⁹⁾
- HGT: Días de calefacción total
- theta i [θ_i]: Temperatura media del aire en la vivienda
- theta a [θ_a]: Temperatura media del aire fuera de la vivienda
- Hu: Poder calorífico inferior del combustible
- Eta [η]: Coeficiente de rendimiento de la generación térmica

Para calcular el consumo total de combustible para la calefacción de la vivienda tipo 1, se estima que la calefacción está encendida durante 15 horas diarias. El coeficiente calorífico inferior de la biomasa utilizada, se estima en 700 kWh/Sm³⁰⁾ y el rendimiento de conversión de energía térmica es alrededor de 85%. Para la calefacción de la vivienda tipo 1, se necesita por vivienda anualmente alrededor de **8,3 Sm³** de astillas (6,4 Sm³ para la calefacción, 1,9 Sm³ para la ventilación) (ver Anexo A1).

27) Sm³: La medición astillas se expresa en Sm³. 1 Sm³ corresponde a 2.8 m³.

28) Según SIA 380/1 (2007): Bauwesen. Thermische Energie im Hochbau.

29) Ventilación: El aire fresco requerido para la higiene y el aire fresco que penetra sin control en la vivienda. El aire fresco debe ser calentado. El aire a calentar depende del comportamiento de ventilación del usuario así también de la estanqueidad del edificio.

30) Poder calorífico inferior del combustible depende del tipo de madera, contenido de humedad y estructura de la biomasa. Para los árboles de la zona (*lengua, siempreverde y coihue*) se estima un coeficiente de 700 kWh/Sm³.

Demanda de combustible para el agua caliente

El cálculo se basa en la siguiente fórmula:

Demanda de combustible³¹⁾ =

$$\frac{365 \times \frac{l}{\text{días}} \times \Delta t \times Pers. \times cp}{Hu \times \eta}$$

- Δt : Diferencia
- cp : Densidad x Capacidad energética de agua, específica
- Hu : Poder calorífico inferior del combustible
- $Eta[\eta]$: Coeficiente de rendimiento de la generación térmica

Para calcular el consumo total de combustible para el agua caliente del tipo vivienda 1, se estima que habitan en promedio 2,8 personas en la vivienda³²⁾, las que utilizan 40 litros diarios de agua caliente y la temperatura del agua fría es 10°C, de la temperatura del agua caliente es 50 °C. Para el agua caliente del tipo vivienda 1, se necesita por vivienda en un año alrededor de **3,1 Sm³** de astillas.

Se ha utilizado la misma metodología para estimar la demanda de combustible para la calefacción y el agua caliente para los otros tipos de viviendas. En la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados:

- Existen grandes diferencias en la demanda de combustible entre los tres tipos de viviendas.
- El tipo vivienda 1, que cumple con los requisitos de la construcción verde, requiere 2.5 veces menos combustible al año que la vivienda social, lo que implica un costo de energía térmica menor comparado con el tipo vivienda 3.
- Las características de las viviendas tienen una gran influencia en la demanda de combustible. Por tal razón, las características de las viviendas son sumamente importantes para una urbanización con una calefacción distrital.

31) Según SIA 380/1 (2007): Bauwesen. Thermische Energie im Hochbau.

32) Supuestos: Superficie del área energética de referencia = 66 m²; 24 m² para 1 persona. 66 m²/24m² = 2.8.

Figura 15: Demanda de combustible para los tres tipos de viviendas.

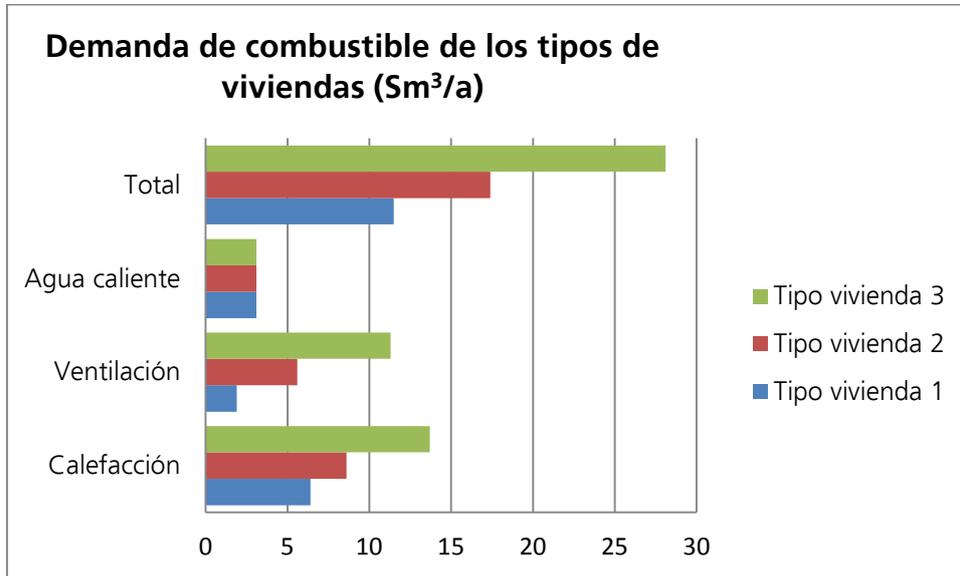


Tabla 17: Demanda de combustible para los tres tipos de viviendas.

	Tipo vivienda 1 Valor óptimo 120 kWh/m²a	Tipo vivienda 2 Nueva vivienda	Tipo vivienda 3 Referencia Coyhaique
Demanda de combustible de las viviendas (Sm³/a):			
Calefacción	6.4	8.6	13.7
Ventilación	1.9	5.6	11.3
Agua caliente	3.1	3.1	3.1
Total	11.5	17.4	28.1

7.2.2 Demanda de energía térmica

Demanda de energía térmica para los tipos de viviendas

En la siguiente tabla, se muestra la demanda de energía térmica para los tres tipos de viviendas, en la que se pueden observar grandes diferencias entre los casos analizados. La demanda de energía térmica para calentar el agua es la misma en todos los tipos de las viviendas, sin embargo hay grandes diferencias en la demanda de energía térmica para la calefacción y ventilación de las viviendas.

Figura 16: Demanda de energía térmica específica para los tipos de viviendas.

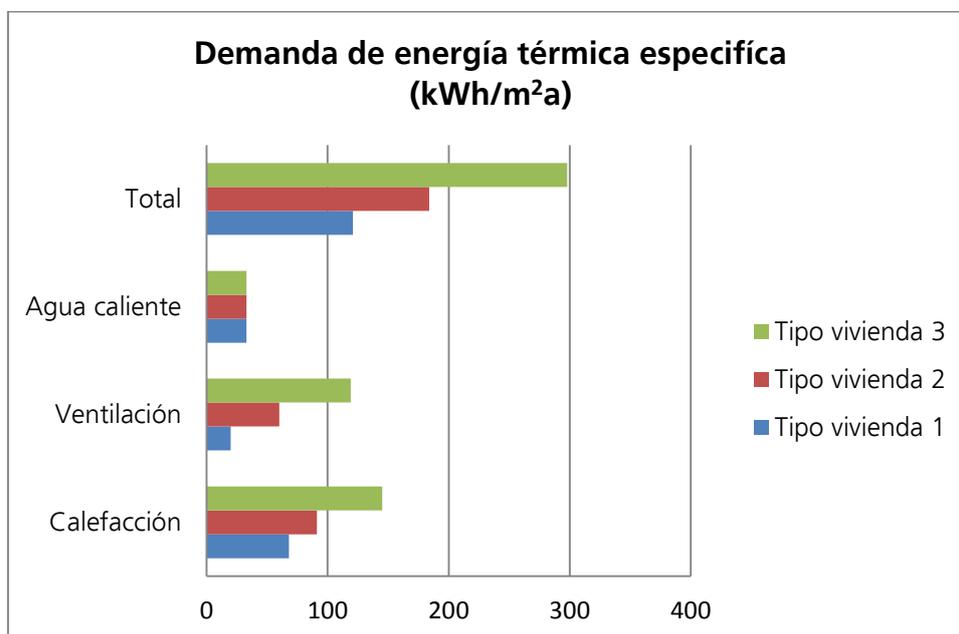


Tabla 18: Demanda de energía térmica específica para los tipos de viviendas.

	Tipo vivienda 1 Valor óptimo 120 kWh/m²a	Tipo vivienda 2 Nueva vivienda	Tipo vivienda 3 Referencia Coyhaique
Demanda de energía térmica específica (kWh/m²a)			
Calefacción	68	91	145
Ventilación	20	60	119
Agua caliente	33	33	33
Total	121	184	298

En la siguiente tabla se muestra la demanda de energía térmica para los tres tipos de viviendas. Al igual que en la tabla anterior, hay grandes diferencias entre los tres tipos de vivienda, reflejando que las características de construcción y diseño de éstas tienen una gran influencia en la demanda de combustible. La vivienda tipo 1, que cumple con los requisitos de la construcción verde, requiere 2.5 veces menos combustible al año que la vivienda social.

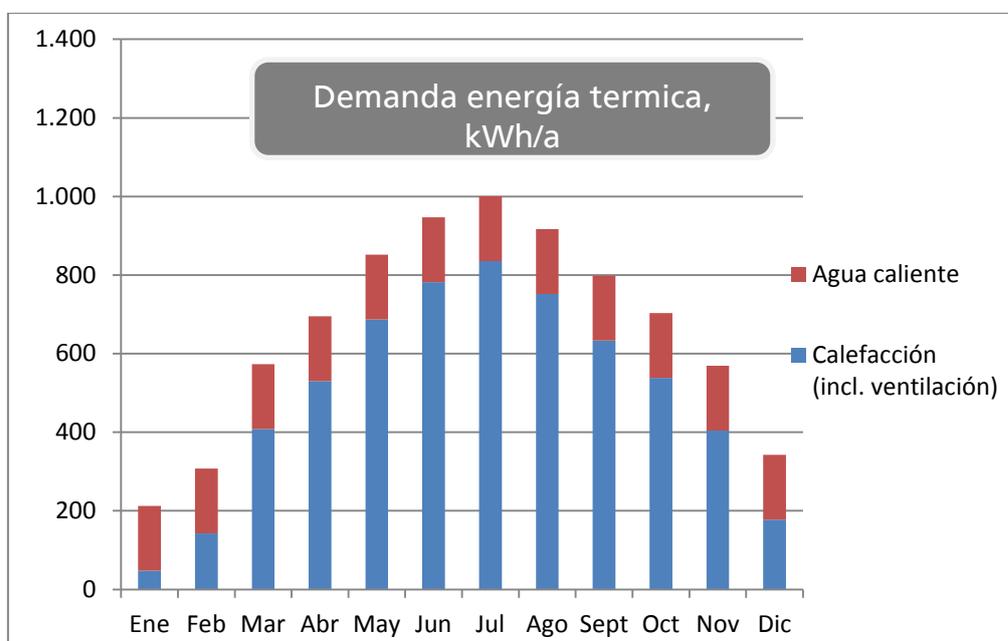
Tabla 19: Demanda de energía térmica para los tipos de viviendas.

	Tipo vivienda 1 Valor óptimo 120 kWh/m²a	Tipo vivienda 2 Nueva vivienda	Tipo vivienda 3 Referencia Coyhaique
Demanda de energía térmica para una vivienda (W)			
Calefacción	1.733	2.528	4.160
Ventilación	345	1.035	2.071
Agua caliente	660	660	660
Total	2.738	4.223	6.891

7.2.3 Curva de energía térmica

El siguiente gráfico muestra la demanda energética para una vivienda durante todo el año.

Figura 17: Curva de energía térmica de una vivienda



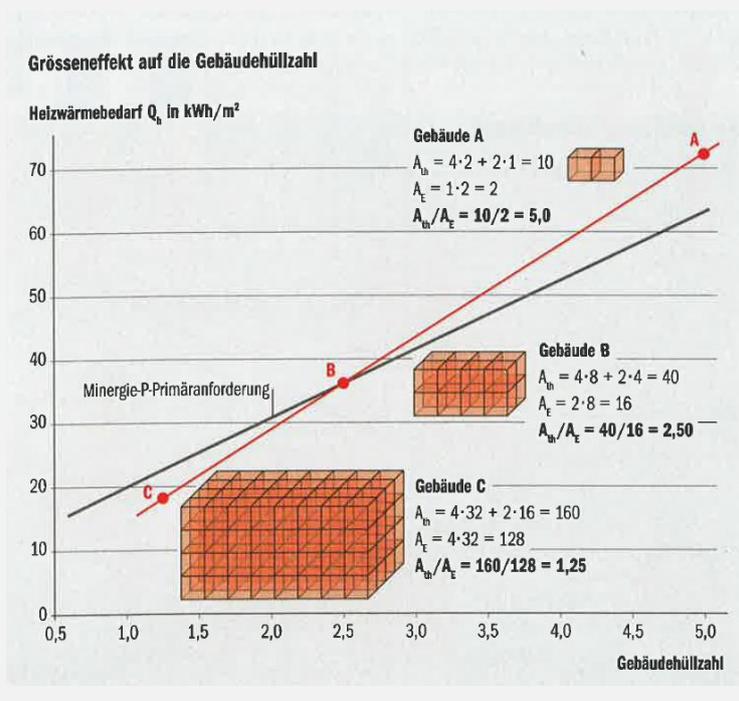
Construcción densa y compacta vs. demanda de energía térmica

No sólo el aislamiento de un edificio influye en la demanda de energía, sino también su forma y tamaño. Los edificios grandes tienen en general ventajas energéticas y económicas. El siguiente ejemplo, mostrará brevemente esta correlación.

Existe un índice de "compactividad" que describe la relación entre la superficie de un edificio y la superficie energética. Dos factores influyen en esta relación: El tamaño y la forma de un edificio. En la práctica, estos dos factores apenas se pueden separar, ya que con el tamaño a menudo cambia la forma y viceversa.

En general, se puede decir que los edificios que están muy bien aislados nunca tienen una alta demanda de energía térmica para la calefacción. Edificios que están contruidos de manera compactas usan poca energía térmica. La siguiente figura ilustra la influencia del tamaño de una vivienda en la demanda de energía térmica. El edificio C ("Gebäude C") tiene un volumen que es 8 veces mayor que el edificio A ("Gebäude A"). Esto tiene un impacto importante en la demanda energética: El edificio C solamente usa alrededor de 50% de la energía térmica que el edificio A.

Conclusión: La forma y el tamaño de las viviendas tienen una gran influencia en la demanda de energía térmica. Las viviendas en Coyhaique corresponden al tipo edificio A. Tienen desventajas energéticas y económicas comparando con los edificios al tipo B y C.



8 La infraestructura y tecnología

8.1 Selección de la mejor opción

8.1.1 Descripción de las opciones

Para definir las distintas opciones, se toman en cuenta los dos siguientes aspectos:

El número de las viviendas: De acuerdo con los términos de referencias de la licitación, se tiene que determinar la demanda energética para parte de las 630 viviendas de la urbanización. De las 630 viviendas, 400 viviendas son viviendas sociales. Las restantes 230 viviendas constituyen una urbanización para los militares. La siguiente figura muestra la urbanización de los Torreones Villa Militar.

Figura 18: La urbanización de las 230 viviendas de los torreones villa militar



En una segunda visita a Coyhaique en septiembre 2012, se mantuvieron reuniones con actores públicos del MINVU y SERVIU, con empresas de construcción y con la Cámara Chilena de Construcción en Coyhaique. Además, se visitó varias urbanizaciones con viviendas sociales. En tales eventos se mencionaron los siguientes riesgos que se debe tomar en cuenta con un sistema energético en base de una calefacción distrital con biomasa:

- Las personas en las viviendas sociales usan otra alternativa para calentar su vivienda, por ejemplo con calefacción eléctrica.
- Los usuarios amplían sus viviendas sin tomar en cuenta el aislamiento de las mismas.
- Están acostumbrados culturalmente a usar leña para cocinar y para el agua caliente.

- Si no cuesta mucho la energía térmica, los usuarios sobrecalientan la casa.
- Los residentes de la vivienda social no acostumbran pagar facturas por energía térmica.

Por tales razones, se toman en cuenta en las opciones también las 230 viviendas del servicio militar.

Demanda de energía térmica: Un segundo aspecto importante en la definición de las opciones es la consideración de las características de las viviendas. El aislamiento de las viviendas (muro, techo, piso, ventana) es uno de los factores decisivos para garantizar un balance energético eficiente de la vivienda. Las viviendas sociales que actualmente se construyen en Coyhaique tienen altos valores de transmitancia térmica total (U), alrededor de 300 kWh/m²a de acuerdo a Alejandro Cornejo³³).

A base de estos argumentos, se han definido nuevas opciones que se diferencian del número de las viviendas y de la demanda de energía térmica. Solamente se toma en cuenta opciones con 230, 630 y 1030 viviendas. La opción de conectar las edificaciones aledañas al sitio de emplazamiento del proyecto no se ha considerado por falta de datos e información.

Figura 19: Vista general de las 9 opciones

Opciones (1 a 9)		Demanda de energía térmica		
		Alta	Media	Baja
N° viviendas	230	1	2	3
	630	4	5	6
	1030	7	8	9

Consideración de los aspectos de eficiencia energética en la construcción de las viviendas

8.1.2 Criterios para la evaluación

Para evaluar las nueve opciones y hacer una selección apropiada, se definen los criterios para los aspectos económicos, sociales y ambientales. En este capítulo, están listados los criterios, y una breve descripción de estos.

33) Alejandro Cornejo es el presidente de la Cámara Chilena de la Construcción en Coyhaique. Tiene la empresa Constructora Entre Ríos en Coyhaique.

En los aspectos económicos, se han definido cinco criterios que abarcan los costos de la inversión y de la operación, pero también la posibilidad de tener acceso a financiamientos alternativos.

- **Costo de inversión (absoluto):** Este contiene todos los costos de la instalación del sistema de energía, desde el almacenamiento de la biomasa, la planta de biomasa, la calefacción distrital a la distribución de energía térmica en las viviendas.
- **Costo de inversión para las viviendas:** Esto incluye todas las tareas para mejorar la eficiencia energética de las viviendas, especialmente la aislación de las viviendas sociales para mejorar la transmitancia térmica de las viviendas.
- **Costo de combustible para una vivienda:** La biomasa tiene en Coyhaique un precio alrededor de 40 USD para un m³ de leña. El costo de combustible es un importante factor para que los usuarios tengan un bajo costo de la energía térmica.
- **Costo de operación – costos fijos (sin biomasa):** Este costo incluye todos los costos para la gestión y mantención del sistema energético desde el almacenamiento hasta la venta de la energía térmica.
- **Subvenciones:** El Gobierno Chileno tiene posibilidades de subvencionar a las viviendas sociales, por ejemplo: subsidios de reacondicionamiento (cambio de ventanas), subsidio a la instalación de calentadores solares en construcciones nuevas, por nombrar algunos.

En los aspectos sociales, se toman en cuenta los distintos usuarios (personas sociales, los militares) y la complejidad de la organización del proyecto.

- **Comercialización de energía térmica asegurada:** Se tiene que garantizar que la energía térmica para las viviendas venga de la planta de biomasa y no de otras fuentes de energía. Existe el riesgo que los actores sociales sustituyan la energía térmica por una calefacción eléctrica o por leña de la zona. Este criterio es un factor importante para garantizar la seguridad de los inversionistas.
- **Disposición a pagar:** Para el propietario y el operador de la planta de biomasa y de la calefacción distrital, es importante saber que la energía térmica producida puede ser vendida para cubrir los costos.
- **Complejidad de la organización del proyecto:** Para la planificación e implementación del proyecto piloto y demostrativo, se tiene que incorporar distintos actores con distintos intereses y necesidades. Por tal razón, es conveniente, incluir solamente aquellos actores que tienen mucha motivación e interés en ser parte del proyecto.

En los aspectos ambientales, se incluyen las características de las viviendas, considerando los aspectos de eficiencia energética y las emisiones de contaminantes del aire.

- **Características del aislamiento de las viviendas:** Es una descripción de las características del aislamiento de las viviendas para expresar la eficiencia energética de las viviendas.
- **Emisión de contaminantes del aire:** Un factor importante es la reducción de las emisiones para reducir la contaminación del aire.

Figura 20: Resumen de los criterios para la evaluación



8.1.3 Procedimiento

La evaluación de las opciones, como se muestra en la siguiente figura, tiene dos niveles: Dado que los criterios de la evaluación tienen distinta importancia para la gestión de una calefacción distrital exitosa, hay de un lado una ponderación y del otro, la evaluación del criterio de impacto.

Ponderación: La ponderación dada a cada criterio indica la importancia relativa de dicho criterio en el éxito de la gestión de una calefacción distrital. Tiene cinco niveles, del 1 al 5, siendo mayor el número, más influencia tiene sobre el criterio del resultado. Los números indican la siguiente:

5 Muy importante

1 Sin importancia

Evaluación: Las tres opciones serán evaluadas de acuerdo a criterios definidos. La escala de la evaluación tiene cuatro niveles. Los valores varían entre 0 y 3, siendo el valor 3 el asignado al impacto positivo del criterio, mientras que en caso contrario el criterio recibe un valor bajo. Es elegido siguiendo el esquema de evaluación:

3 Muy bien

2 Bien

1 Regular

0 Malo

8.1.4 Resultados

La siguiente tabla muestra los resultados de la evaluación de las opciones, de la cual se pueden desprender las siguientes afirmaciones:

Figura 21: Evaluación de las 9 opciones

	Ponderación	Opciones								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Costo de inversión (absoluto)	5	5	15	15	0	5	15	0	0	5
Costo de inversión para las viviendas	5	15	10	0	15	10	0	15	10	0
Costo de combustible para una vivienda	5	0	10	15	0	10	15	0	10	15
Costo de operación - costos fijos (sin biomasa)	3	3	0	0	6	6	0	9	6	3
Subvenciones	1	0	0	0	3	3	3	3	3	3
Disposición a pagar	3	9	9	9	3	3	3	3	3	3
Comercialización de energía térmica asegurada	3	6	6	6	0	0	0	0	0	0
Complejidad de la organización del proyecto	1	3	3	3	1	1	1	1	1	1
Características del aislamiento de las viviendas	1	0	2	3	0	2	3	0	2	3
Emisión de contaminantes del aire	3	3	6	9	3	6	9	3	6	9
		44	61	60	31	46	49	34	41	42

Figura 22: La selección de la opción 2

		Demanda de energía térmica		
		Alta	Media	Baja
N° viviendas	230	1	2	3
	630	4	5	6
	1030	7	8	9

- **Las mejores opciones son los números 2 y 3.** Son las dos opciones que tiene al complejo militar como actor principal. No tienen viviendas sociales. Las razones para el buen resultados son, por un lado, que la disposición a pagar y la comercialización de energía térmica está más asegurada con este actor que con los actores sociales. Además, se quiere que la organización del proyecto sea menos compleja que en las otras opciones.

- **Eficiencia energética en las viviendas vs. costos operativos para la energía térmica.** En las tres opciones 3, 6 y 9, el costo de combustible para las viviendas es bajo. En estas tres opciones se tratan de viviendas sociales con un buen aislamiento y que cumplen con los requisitos de la eficiencia energética en las viviendas. Mientras más baja es la demanda energética de las viviendas, más bajos son los costos para la producción de energía térmica. Es un factor decisivo que hay que tomar en cuenta en las decisiones.
- **La opción 4 tiene los puntos más bajos de las nueve opciones examinadas.** Es la opción con las 630 viviendas sociales que están previstas construir en la urbanización. Actualmente existen modelos de viviendas sociales de empresas constructoras en Coyhaique. Al respecto de los requisitos energéticos, las viviendas sociales no logran un nivel óptimo para ser consideradas en una urbanización con una calefacción distrital a base de biomasa. Ello debido a los altos costos de inversión que significan para el sistema energético, el alto costo de combustible anual para calentar las viviendas sociales y la inseguridad para los inversionistas porque existe una cierta incertidumbre porque no se sabe si los actores sociales están dispuestos a pagar las cuentas que se originan por el servicio. En la opción 4 tampoco existe un buen aislamiento de las viviendas.
- **La opción 7 a 9 con 1030 viviendas tienen la puntuación muy baja:** El costo de inversión absoluto es muy alto. Todavía falta experiencia en un proyecto piloto y demostrativo en una calefacción distrital en Chile. Además, existen las mismas desventajas que se han mostrado en la anterior opción 4.

Conclusión: La opción 2 obtiene la puntuación más alta. Comparando con las otras opciones, la opción 2 tiene beneficios económicos (bajos costos de capital para el sistema de energía, la reducción de los costos para la eficiencia energética), tiene un impacto positivo en los aspectos ambientales y sociales. La opción con 1030 viviendas tienen desventajas culturales y económicas, por tal motivo esta opción no se considera en los próximos pasos.

8.2 Almacenamiento de materia prima

El lugar del almacenamiento tiene que estar ubicado al lado de la carretera para tener un buen acceso con los camiones que transportan biomasa. El almacenamiento para las astillas está directamente conectado con la planta de biomasa y la calefacción distrital. Para la cantidad de 4'500 Sm³, el almacén debe tener aproximadamente una longitud de 13 m, un ancho de 12 m y una altura de 5 m (dimensiones exteriores). El volumen neto es de unos 400 m³. Esto permite el abastecimiento de biomasa durante 13 días, si la planta de biomasa está funcionando plenamente. Para las 230 viviendas, se estima una demanda de combustible de biomasa de alrededor de 4'500 Sm³. Si los camiones pueden entregar 35 m³ de astillas por vez, se estima

que los camiones tienen que entregar astillas 130 veces al año. Durante el invierno y los meses en transición, por lo tanto se puede esperar en promedio cuatro entregas por semana. El almacén se llena y gestiona por medio de un cargador. Para el transporte de las astillas desde del almacén hasta la planta de biomasa, se usa un suelo deslizante con cilindros hidráulicos y con transportadores de tornillo por separado.

Tabla 20: Índices del almacenamiento

Almacenaje de materia prima	
Volumen neto (Sm ³)	400
Longitud (m)	13
Ancho (m)	12
Altura (m)	5

8.3 Planta de biomasa

Producción de energía térmica

Para el abastecimiento de la energía térmica de las 230 viviendas, se requieren dos calderas automáticas de planta de biomasa para la generación de energía térmica con una potencia de 900 kW y 400 kW. Además, se instala una caldera de reserva con Gas con una potencia de 900 kW³⁴). Por lo tanto, están instalados aproximadamente 2.200 kW totales. Para las tres calderas, es necesario un espacio de unos 13 m de largo, 15 m de ancho y 5 m de alto (dimensiones exteriores). Las calderas fueron dimensionadas de tal manera que en caso de una falla de cualquiera de las calderas, todavía estaría disponible el 100% de la demanda energética con 1.300 kW de capacidad (caso de diseño). La planta de biomasa calienta el agua durante el verano. Además en invierno se produce la energía térmica para las viviendas. En caso de falla de las calderas de biomasa como reserva funciona la caldera de gas apoyando la producción de energía térmica cuando sea necesario (redundancia). En un frío extremo, la caldera de gas puede tomar la carga máxima. La tasa de cobertura de la biomasa durante todo el año es de más del 98%. El resto de la energía térmica requerida es proporcionada por la caldera de gas. El concepto descrito con las tres calderas asegura una alta seguridad del suministro de energía térmica. Si una de las tres calderas debido a un defecto o al mantenimiento de la planta de biomasa no funcionaría, se tendría un impacto insignificante para el suministro de la energía térmica. El sistema de la planta de biomasa tiene una capacidad de reserva determinada - por lo que podría estar ampliado y conectado a más viviendas.

34) La caldera de gas tiene las siguientes ventajas comparando con la caldera de petróleo: Menor contaminación del aire (NOx, CO₂), necesitan poco espacio, menor costo de inversión. El problema principal del petróleo son los altos costos del combustible en el futuro.

Tabla 21: Índices de la planta de biomasa

Planta de biomasa	
Número de calderas	3
Potencia instalada (kW)	2'200
Longitud (m)	13
Anchura (m)	15
Altura (m)	5

La caldera de combustión

La caldera de combustión tiene dos calderas y puede regular la potencia entre 40% y 100%. Estos incluyen un conducto de emisión de humos con filtro para el secado, la gasificación y combustión óptima de astillas. El control electrónico y la regulación de la planta tienen los siguientes elementos: Un reciclaje automatizado de la ceniza de la caldera, un ciclón múltiple y un filtro eléctrico para reducir las emisiones de materia particulada y un tubo de caldera de limpieza automática completa. La ceniza de la combustión, se puede mezclar con el compost. La ceniza del ciclón múltiple y del filtro eléctrico tiene que ser eliminada en un relleno sanitario.

Almacenamiento técnico

El almacenamiento técnico (el almacenamiento de calor en agua caliente) tiene una capacidad aproximada de 20 m³ y complementa la caldera de combustión. El almacenamiento técnico tiene distintas funciones importantes: Garantiza el desacoplamiento hidráulico de la producción de energía térmica. Esto es importante para garantizar un funcionamiento estable y equilibrado de la producción de energía térmica. También se extiende el tiempo promedio del funcionamiento de la caldera de combustión, puede regular los cambios rápidos de distintas demandas de energía térmica de los usuarios, optimiza la ingeniería de control y aumenta la seguridad de un abastecimiento constante con energía térmica.

Filtro electrostático

Para la deposición de las materias particuladas (PM10; partículas con un diámetro aerodinámico inferior a 10 µm, PM1 y aerosoles incluso más pequeños) se incorpora en las dos calderas de biomasa un filtro electrostático. En Suiza, de acuerdo con la Ley de Aire Limpio desde el 1 de Septiembre de 2007, las calderas de biomasa en el rango de potencia entre 1 MW y 10 MW tienen un límite de 20 mg/m³. Este valor se puede lograr solamente con un filtro electrostático. Debido al tamaño significativo del filtro electrostático se necesita el siguiente espacio para el filtro: Longitud de 3 m, ancho de 2.8 m y altura de 4.5 m.

El reciclaje y descomposición de la ceniza

Se recomienda un contenedor para el reciclaje y la descomposición de la ceniza con una capacidad de alrededor de 800 litros. Anualmente, se estima alrededor de 8 toneladas de ceniza, que significa que tiene que ser eliminada 10 veces al año.

8.4 Calefacción distrital

Los usuarios de la energía térmica están conectados con las tuberías de calefacción que están muy bien aisladas. Las tuberías se encuentran instaladas en el suelo debajo de la línea de congelación. La tubería principal (DN 100 - DN 50) sale de la planta de biomasa en dirección sureste y se encuentra paralelamente a la carretera hacia las viviendas. Las tuberías de ramificación (DN 40 - DN 20) se encuentran a lo largo de las calles del barrio. La conexión de la tubería a las viviendas es una tubería más delgada (DN 15). La longitud total de las tuberías de la calefacción distrital para las 230 viviendas es alrededor de 4,1 km. Un esbozo del diseño del sistema de calefacción se puede encontrar en el Anexo 3.

8.5 Emisiones de la planta de biomasa

Situación actual en Coyhaique

Desde el año 2002, CONAMA Aysén en conjunto con el Servicio de Salud y la Corporación Nacional Forestal han venido realizando campañas de monitoreo de la calidad de aire en la ciudad de Coyhaique. Los resultados han mostrado sistemáticamente condiciones negativas sobre la acumulación de PM10 y PM2.5, presentándose principalmente durante los inviernos, varios días de excedencia de norma de concentraciones de PM10³⁵⁾. La contaminación del aire tiene muchos efectos en la salud, desde irritaciones leves, hasta el desarrollo de graves enfermedades. El año 2012, entre abril y julio, la norma diaria de PM10 se ha superado ya en 27 oportunidades. Coyhaique concentra 23 mil artefactos que cada año consumen 350.000 m³ de leña.

Impacto de la calefacción distrital en Coyhaique

Si el proyecto se lleva a cabo, en comparación con los resultados de calefacciones individuales a base de leña en cada vivienda, se puede reducir masivamente las emisiones anuales de PM10 y PM2.5: A base de los resultados de mediciones en calefacciones individuales, se estima una emisión de 2'500 mg/Nm³ al año. En la calefacción distrital con los filtros electrostáticos, se genera alrededor de 20 mg/Nm³ al año para las 230 viviendas. Con la instalación de una calefacción distrital en la urbanización, se puede reducir 99% de las emisiones anuales y está en el orden de magnitud de alrededor de 29 toneladas al año.

35) <http://sinca.mma.gob.cl>

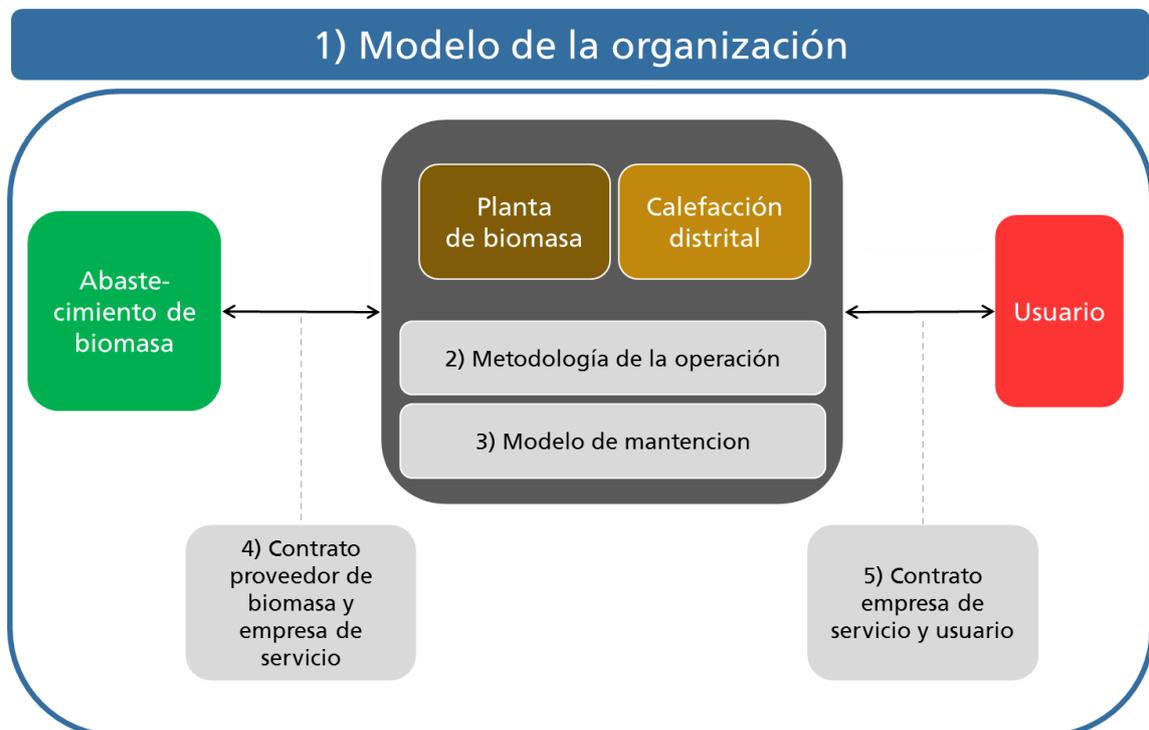
9 Organización y modelo de negocio

9.1 Vista general

La siguiente figura muestra la cadena completa desde el abastecimiento de biomasa hasta la cobranza de energía térmica a los usuarios. Existen actores con distintas competencias y recursos que podrían estar a cargo de cada proceso. Este módulo se enfoca en la elaboración de la estructura y en los diferentes modelos de organización entre todos los actores para garantizar una operación eficiente y eficaz de la planta y un buen servicio para los usuarios. Estos modelos son la base para la discusión entre todos los actores involucrados.

Adicionalmente se incluye una propuesta para: 1) el modelo de organización entre los actores; 2) un modelo de la metodología de operación; y 3) un modelo de mantenimiento. Para garantizar el abastecimiento de biomasa a mediano y largo plazo se elabora una propuesta de 4) un contrato entre el proveedor de biomasa y de la empresa de servicio. Además, se elabora una propuesta para 5) un contrato entre la empresa de servicio y el usuario. Un aspecto fuerte es la involucración de los actores locales y regionales en toda la gestión del proyecto.

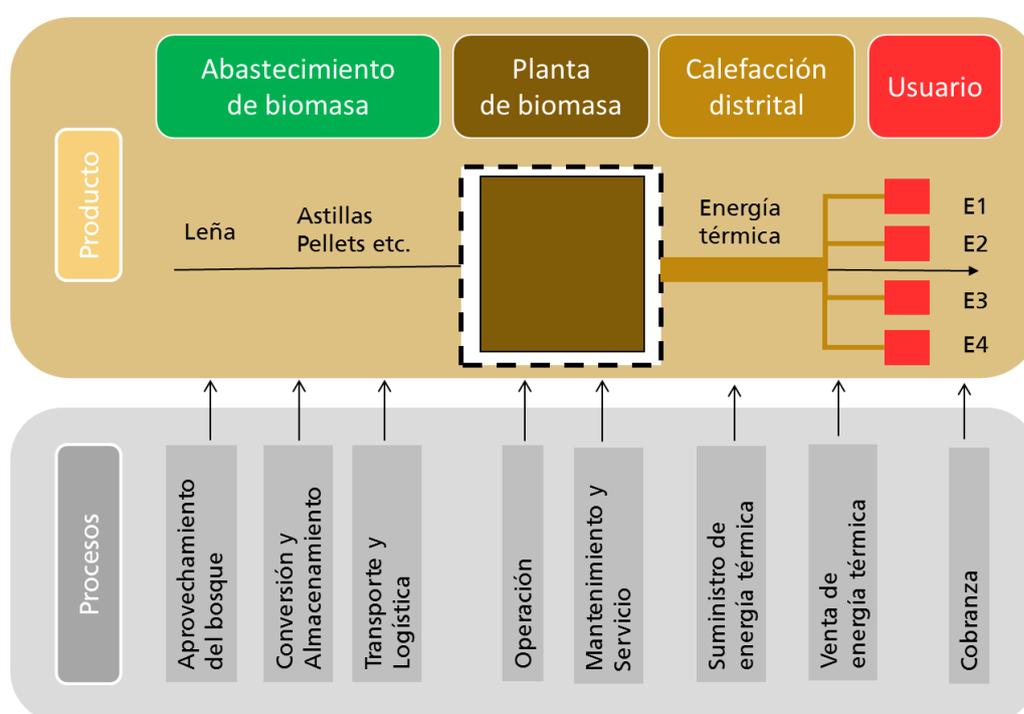
Figura 23: Principales componentes de la organización y modelo de negocio



9.2 Modelo de la organización

Dada la variedad actores detectados en Coyhaique, se describen en la siguiente figura, las 3 opciones de modelos de organización, considerando el abastecimiento de biomasa, la producción de energía térmica en la planta de biomasa, la distribución de la energía térmica en la calefacción distrital y la venta de la energía térmica a los usuarios. Para garantizar una producción de energía térmica eficiente y eficaz, cada actor tiene que concentrarse en sus competencias principales.

Figura 24: Cadena de la producción de energía térmica



Se describe como "Asociaciones Industriales o Comerciales (AIC)" a aquellas iniciativas asociativas de pequeños y medianos empresarios que han manifestado su interés en colaborar en el proyecto piloto como un actor relevante para la inversión y/o planificación y gestión de la planta de biomasa y calefacción distrital³⁶⁾ (ver 6.5.2). En general, se percibe un gran interés de los actores forestales, energéticos y del sector público en desempeñar un papel importante en este tipo de proyecto.

36) De acuerdo a diversas reuniones que ha sostenido TBS y EBP en Coyhaique

En base al interés y competencias de los actores, se describen tres opciones de modelos de organización, que podrían ser implementadas en Coyhaique, las cuales se enumeran a continuación:

- *Opción 1:* Organización de empresas individuales para cada proceso.
- *Opción 2:* Asociaciones industriales/comerciales (AIC) y empresa energética que invierten en conjunto en la planta.
- *Opción 3:* Subcontratación o “Contracting” con un enfoque de empresas energéticas, grandes empresas forestales o empresas extranjeras.

9.2.1 Opción 1: Organización de empresas individuales

En esta opción, se asignan los diferentes procesos a los actores especializados. Los actores forestales (por ejemplo, asociaciones de comerciantes de biomasa o propietarios de bosques) son responsables del abastecimiento seguro y rentable de las astillas para la planta de biomasa y la calefacción distrital. El AIC es propietario de la caldera y responsable de su gestión y operación. Un actor del sector energético es propietario de la calefacción distrital y está a cargo de la comercialización y cobranza de la energía energética.

Figura 25: Opción 1: Organización de empresas individuales para cada proceso.

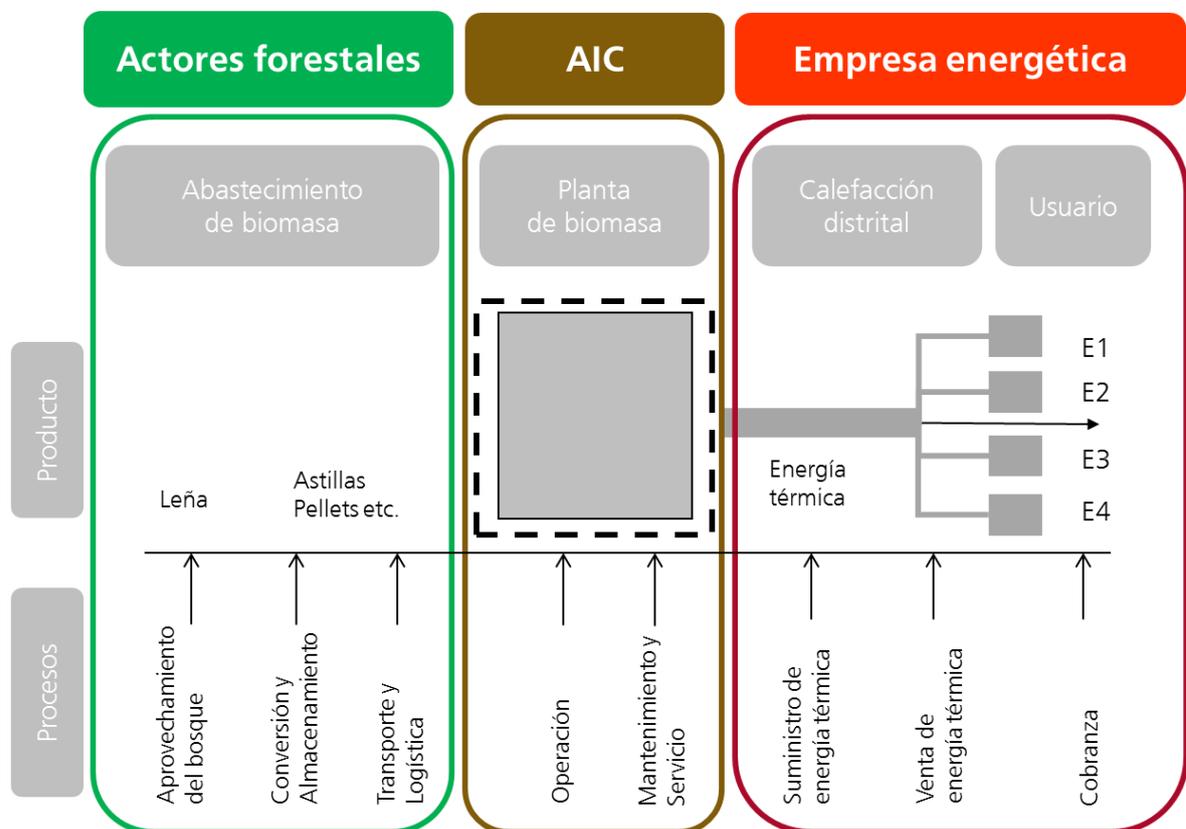


Tabla 22: Ventajas y desventajas de la organización de empresas individuales para cada proceso.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Las responsabilidades se asignan a instituciones con las capacidades óptimas, según el proceso. • El riesgo del negocio, la propiedad y utilidades son claramente reguladas. • La inversión en infraestructura está claramente segregada. • El propietario de la planta de biomasa puede elegir libremente a los abastecedores de biomasa. 	<ul style="list-style-type: none"> • El riesgo financiero recae en pocos actores (principalmente en las AIC). • Poco atractivo para el sector energético. • Alta dependencia entre actores y alto potencial de conflictos. • Se requieren numerosos contratos para organizar y gestionar la planta de biomasa y calefacción distrital. • Intensivo en coordinación administrativa y organizacional. • No existe garantía explícita de abastecimiento de biomasa.

9.2.2 Opción 2: Asociaciones industriales/comerciales (AIC).

En comparación con la opción 1, la inversión en la planta de biomasa y en la calefacción distrital se comparte entre las asociaciones empresariales y una empresa energética.

Figura 26: Opción 2: Asociaciones industriales/comerciales (AIC) y empresa energética que invierten en conjunto en la planta.

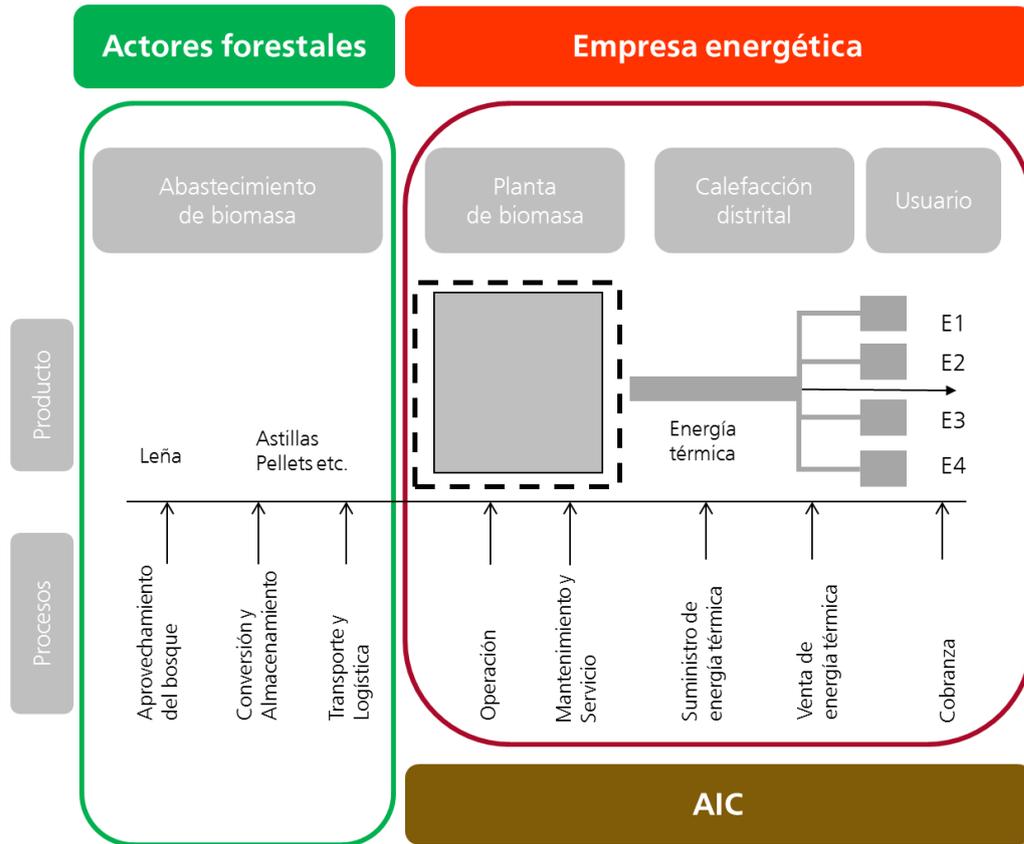


Tabla 23: Asociaciones industriales/comerciales (AIC) y empresa energética que invierten en conjunto en la planta.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Los riesgos financieros, de propiedad y de negocio se distribuyen en dos actores. • Opción económicamente atractiva para acreedores (riesgos, inversión y rendimiento). • Asignación óptima de responsabilidades en función de las capacidades de cada actor. • Flexibilidad en la selección de abastecimiento de biomasa. • Mayor seguridad en la inversión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suministro de biomasa de alta calidad no está garantizado en un 100% al no involucrar al proveedor de astillas.

9.2.3 Opción 3: Subcontratación o "Contracting".

En esta opción, la contratista asume la responsabilidad de la planificación, del financiamiento, de la gestión y operación completa de la planta.

Figura 27: Opción 3: Subcontratación o "Contracting" con un enfoque de empresa energética o empresa extranjera.

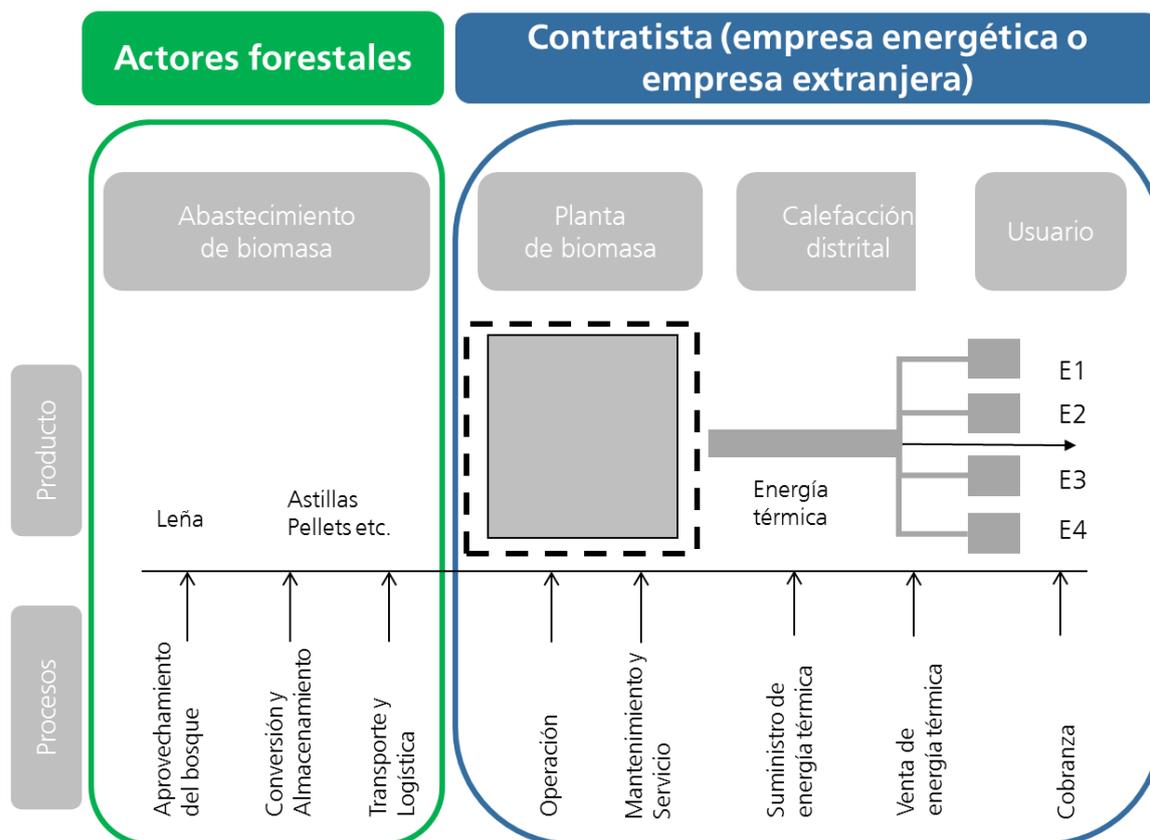


Tabla 24: Subcontratación o "Contracting" con un enfoque de empresas energéticas, grandes empresas forestales o empresas extranjeras.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Todos los servicios son administrados por un solo responsable especializado. • Estructura organizacional simple. • Seguridad en la planificación operacional y financiera. • Riesgos financieros reducidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependencia de una empresa extranjera (si la contratista es una empresa extranjera). • Rentabilidades no se quedan en actores locales (dependiendo de la empresa contratista). • No hay seguridad en la creación o mantención de trabajos. • No hay identificación de la comunidad local ni de los proveedores de biomasa con la planta.

9.2.4 Recomendación para un modelo organizacional

La opción 2 "*Asociaciones industriales / comerciales (AIC) y una empresa energética que invierten en conjunto en la planta de biomasa y en la calefacción distrital*" consideraría el mayor número de ventajas comparativas. Hay que destacar que los riesgos financieros, de propiedad y de negocio se distribuyen en dos actores, considerando que ésta es un proyecto piloto y demostrativo. En particular, **el sector energético** podría ser un actor muy interesante como es el caso en otros países, donde las empresas energéticas no solamente comercializan energía eléctrica sino también energía térmica. En Chile, este mercado todavía es inexistente y tiene un gran potencial de desarrollo. En las reuniones en Coyhaique con SAESA (actor local con gran experiencia en la distribución de energía eléctrica, con experiencia en otras energías renovables), tiene mucho interés en este tipo de proyectos. Además, se han encontrado **actores forestales** en la zona, que tendrían también interés en este tipo de proyectos. En este rango se pueden evaluar las actuales asociaciones de comerciantes de leña o propietarios de plantaciones, tales como CMPC-Mininco u otros particulares con superficies de *Pinus ponderosa* o *Pinus contorta* que demuestran un alto interés en la búsqueda de opciones para comercializar el producto de raleos en estos bosques. El principal elemento de interés para estos abastecedores potenciales será la demanda continua y de alto volumen a largo plazo. La involucración de los actores forestales en una calefacción distrital también es de gran interés estratégico para garantizar el abastecimiento de astillas de alta calidad durante toda la operación de la planta. El proyecto piloto y demostrativo puede generar muchos beneficios económicos (empleo, ingresos alternativos para los actores forestales en la zona) para el sector energético y para el sector forestal si todos están dispuestos a colaborar conjuntamente.

La opción 3 "*Subcontratación o "Contracting" con un enfoque de empresas energéticas, grandes empresas forestales o empresas extranjeras*" considera tradicionalmente la incorporación de una empresa grande que tiene experiencia en la administración general de una planta de estas características. Dada la escasa experiencia chilena en este modelo de negocios, es poco probable encontrar una cantidad suficiente de empresas con las capacidades adecuadas para lograr este objetivo con éxito. Sin embargo, una empresa conformada por capitales mixtos (de propietarios forestales, por ejemplo), puede convertirse en un administrador del sistema completo, simplificando la gestión y el riesgo que involucra la participación de numerosos actores por separado (modelo 1). Como última opción, se puede considerar un contracting con una empresa extranjera que tenga interés en entrar en el mercado chileno.

9.3 Modelo de la metodología de operación

9.3.1 Abastecimiento de biomasa

Los elementos esenciales para la operación eficiente de una planta de biomasa y de una calefacción distrital son el abastecimiento seguro y constante a largo plazo de astillas de alta calidad. Para ello se considera fundamental contar con un almacén de astillas para garantizar un abastecimiento constante a través de actores forestales de la zona. Una asociación podría hacerse cargo de los siguientes servicios:

- Abastecimiento y almacenamiento de trozas
- Organización de actores para astillado y transporte
- Entrega de astillas a la planta de biomasa

Abastecimiento y almacenamiento de trozas

Las fuentes de biomasa para el abastecimiento de la calefacción distrital en la zona de Coyhaique podrían ser las dos siguientes: 1) Aprovechar los residuos forestales del manejo de bosques nativos y 2) los productos de raleos en las plantaciones de coníferas. Siendo el mercado actual de la leña (basada principalmente en bosques nativos) muy atomizado y con alta variabilidad en calidad y disponibilidad, se estima que la planta de biomasa podría tener un alto impacto social, ya que por un lado puede generar nuevos ingresos económicos para los actores forestales, pero por otro genera incertidumbre para un abastecimiento a largo plazo y en volúmenes mayores. Los propietarios de plantaciones como CMPC y otros propietarios privados de bosque (por ejemplo Alejandro Ossa, Víctor Sierra, Gastón Urrejola) cuentan con extensas superficies de bosques nativos y/o plantaciones cercanas a la ciudad. En las reuniones sostenidas con ellos, hemos notado gran interés por encontrar un mercado para los productos que podrían resultar, por ejemplo de los raleos de coníferas, pero que no han sido ejecutados por no existir demanda para esta biomasa. CMPC-Mininco demuestra mucho interés en el almacenamiento de astillas, ya que la empresa cuenta con terrenos para el establecimiento de un centro de acopio/secado intermedio.

Organización de actores para astillado y transporte

Existen varios empresarios en Coyhaique interesados en invertir en astilladoras de las características exigidas para abastecer una planta de calefacción distrital (por ejemplo Víctor Sierra, Franco Valdez). Gastón Urrejola ya ha comprado una máquina para producir astillas. No existen empresas que cuenten con camiones para el transporte de astillas. Tampoco existen camiones adaptados para el transporte de trozas de un largo de hasta 6m (en caso de contar con astillador centralizado). Será por lo tanto necesario licitar entre los actores locales el contrato de transporte de las astillas y/o las trozas, dependiendo del acuerdo de abastecimiento con los propietarios de biomasa. Dado que uno de los esquemas más comunes es el "derecho a

puerta” o compra de vuelo en pie, el aseguramiento de un transporte costo-eficiente y técnicamente confiable es fundamental para garantizar un abastecimiento fluído a la planta de proceso. Hay que destacar la importancia de involucrar actores locales, por su conocimiento de las restricciones climáticas y camineras.

Entrega de astillas a la planta de biomasa

Por el momento no existen compromisos explícitos de sitios para la construcción de un centro de acopio específico para un proyecto de este tipo. En el contexto de un proyecto de patio de energía, el cual pudiera abastecer una planta de calefacción distrital o generar biomasa de calidad, y que se ha planteado entre algunos actores locales, se han manifestado las siguientes opciones:

- CMPC Mininco cuenta con predios cercanos a la ciudad y que podrían ser evaluados para la construcción del acopio;
- Comerciantes de leña certificada cuentan con propiedades en la ciudad (1.500 m²) que estarían dispuestos a ofrecer a un proyecto asociativo;
- Propietarios particulares de bosque cuentan con superficie para la instalación de una planta de acopio y proceso.

9.3.2 Operación y gestión de la planta de biomasa

Es recomendable, encontrar actores locales que podrían operar y gestionar la planta de biomasa para aprovechar su conocimiento local y para generar empleos en la zona. En las reuniones, los siguientes actores han manifestado interés en la operación y gestión de la planta de biomasa:

- *SAESA (sector energético):* SAESA como empresa con gran experiencia en la distribución de energía eléctrica, también ha manifestado su interés en estas áreas de negocio, muy vinculadas a nuevas políticas internas que derivarían en la generación en base a ERNC como parte de sus negocios.
- *Empresarios locales:* Además, empresarios de la Cámara Chilena de la Construcción local también estarían interesados en invertir en diferentes etapas de este modelo operacional.
- *Hol Chile:* Algunos actores, como Hol Chile, han manifestado su interés en invertir y operar una planta de generación de calor como la requerida en este proyecto. Es importante validar el potencial de propuestas de este tipo, en consideración a la experiencia de los involucrados.

9.3.3 Distribución de la energía térmica

En las conversaciones con actores locales no se detectó un interés particular por invertir o administrar de manera independiente la planta de energía térmica o la distribución de la misma.

Debe destacarse sin embargo, la experiencia que SAESA u otra empresa de distribución eléctrica tienen en la gestión de un negocio de este tipo.

9.3.4 Conclusión

En consideración al alto interés particular de actores locales, la alta disponibilidad de biomasa y la baja experiencia en iniciativas de este tipo se proponen las siguientes recomendaciones:

- **Los actores forestales locales** muestran gran interés por el proyecto piloto y demostrativo. Por un lado, se trata de la CMPC, por otro lado de grandes propietarios del bosque nativo en Coyhaique y de los productores y comercializantes de leña. Se ha demostrado también que a nivel nacional, las grandes empresas forestales como **Arauco**, tienen interés para entrar en este tipo de mercado. Es importante enfatizar que los actores realmente tienen interés en invertir en un proyecto piloto y demostrativo.
- **El sector energético** juega un papel central en este tipo de proyecto. En Coyhaique hay dos actores importantes en el sector energético, SAESA y Energy Austral. SAESA como distribuidor de energía tiene interés en una posible participación en el proyecto. Podría ser que Energy Austral sea un actor relevante.
- Una **colaboración entre los actores locales de los dos sectores** sería recomendable para invertir, operar y administrar de manera asociativa en la infraestructura de generación y distribución de calor con actores locales (la opción 2). Se tiene que potenciar el rol de actores locales (asociaciones existentes, empresariado con acceso a capital, etc.).
- Otra posibilidad consiste en la búsqueda de un **inversionista extranjero** que tiene interés en entrar al mercado chileno. Podría entrar en un contracting, es decir estar a cargo de la planificación, implementación y gestión de la planta de biomasa.

9.4 Modelo de mantención

La mantención del equipamiento involucrado en la planta de biomasa para generar la energía térmica y la calefacción distrital tiene escasos referentes locales que aseguren un funcionamiento expedito en el corto plazo. Por ello, se recomienda considerar un contrato de mantención y capacitación al proveedor de tecnología seleccionado. Este mecanismo es ampliamente utilizado con éxito y permitiría incrementar las capacidades técnicas locales en el mediano plazo. Asimismo genera un polo de desarrollo técnico que puede ser atractivo para prestar estos servicios en futuras iniciativas dentro del país.

9.5 Contrato entre proveedor de biomasa y empresa de servicio

A continuación se detallan aspectos relevantes a ser incorporados en un contrato entre un proveedor de biomasa y la empresa de generación de energía térmica.

- *Cantidad y calidad de las astillas:* El proveedor de biomasa tiene que asegurar una cierta cantidad de astillas y la calidad de las mismas (especie forestal, tamaño de las astillas, homogeneidad y contenido de humedad), que se especifica en el contrato de acuerdo a un plan de entrega especificado en el mismo. Se tiene que destacar que la empresa de servicio y el proveedor de biomasa tienen que calificar la calidad de las astillas recepcionadas en planta según las especificaciones definidas.
- *Procedencia de las astillas:* El proveedor tiene que declarar la procedencia de las astillas para evitar que ingrese biomasa de árboles cosechados ilegalmente y/o de bosques que se encuentren en litigio no resuelto.
- *Medición de la biomasa:* El proveedor de biomasa tiene que conocer y aceptar en todas sus partes el sistema de medición y recepción de astillas que utiliza la empresa de servicio.
- *Contrato a largo plazo:* Es importante fijar el contrato de mediano a largo plazo (2 a 5 años) para garantizar las inversiones.
- *Precio:* La empresa de servicio tiene que fijar el precio por cada unidad de volumen de astillas o por la producción de kWh.
- *Facturación:* La empresa de servicio puede emitir a los proveedores de biomasa una factura de compra semanalmente.

9.6 Contrato entre la empresa de servicio y usuario (cliente)

En función de las variadas opciones de contrato, el presente ejemplo podría aplicarse para un contrato entre una sola institución (Por ejemplo, el Ejército de Chile), propietaria del sitio donde se emplace la planta de biomasa.

- *La empresa de servicio garantiza el abastecimiento seguro, constante y de alta calidad de energía térmica:* En el contrato se tiene que garantizar el mantenimiento y operación de la planta de biomasa y de la calefacción distrital (incl. la eliminación y disposición de ceniza), la operación de la planta de biomasa, la supervisión de la distribución de energía térmica, encargarse de los costes de consumo de electricidad y agua. Asegurarse que la central térmica contrate el seguro de responsabilidad civil para proteger su funcionamiento en caso de incidentes. El vendedor también será responsable de asegurarse que sus subcontratistas

tengan una cobertura de seguro válida y suficiente contra posibles daños a terceros causados por el equipo de la central térmica.

- *Los usuarios garantizan el uso único de la energía térmica en las viviendas y el pago:* Los usuarios deberán responsabilizarse y asegurar que no instalarán otra fuente de energía térmica, para de esta manera garantizar la venta de la energía térmica durante los años de la operación de la calefacción distrital. Además deberán garantizar el pago de la cuenta mensual.
- *Medición de la energía térmica:* La energía térmica suministrada por la empresa de servicio será medida en las viviendas con un contador de calor comprado por la empresa de servicio a su cargo que también se ocupará de su mantenimiento.
- *Formación del precio y ajuste de precio y facturación:* El usuario abonará a la empresa de servicio una cuota fija y el precio de energía térmica según el listado de precios.

10 Financiamiento y Rentabilidad

10.1 Descripción de las 2 opciones

En el siguiente capítulo, se estiman los costos de inversión y los costos de operación para la calefacción distrital a base de biomasa para las opciones 2 y 4³⁷⁾, seleccionados de acuerdo a la matriz de doble entrada que se muestra en la figura 29. La opción 2 considera el sistema energético para las 230 viviendas de la urbanización de los Torreones Villa Militar. En esta opción, las viviendas de la urbanización están bien aisladas contando con ventanas de vidrio doble y logran una transmitancia térmica total (U) de alrededor de 180 kWh/m²a. Por tal razón, la demanda de energía térmica es media. La opción 4 considera la construcción de las viviendas para toda la urbanización de 630 viviendas. Las viviendas representan el estándar energético actual de las viviendas sociales que se construyen en Coyhaique.

Figura 28: Selección de las 2 opciones

Consideración de los aspectos de eficiencia energética en la construcción de las viviendas

Opciones (1 a 9)		Demanda de energía térmica		
		Alta	Media	Baja
N° viviendas	230	1	2	3
	630	4	5	6
	1030	7	8	9

Los costos de inversión para las dos opciones están estructurados en tres segmentos: 1) El costo de planificación del proyecto; 2) el costo del almacenaje de biomasa y la planta de biomasa y de gas y 3) el costo de la construcción de la calefacción distrital. Los costos de construcción y el costo de mano de obra han sido proporcionados por la Cámara Chilena de la Construcción en Coyhaique. Los costos de inversión en maquinarias, equipos y tuberías de la calefacción distrital están basados en los precios de los proveedores de tecnología.

37) En la reunión del 5 de noviembre 2012 con Viviana Huerta Doren, Verónica Martínez Saperas, Gerardo Canales González y TBE / EBP, se ha tomado la decisión de enfocarse en las opciones 2 y 4 para hacer el estudio de factibilidad económica. No se elabora la factibilidad económica para las 1030 viviendas y ni para la conexión de otros edificios (ver 8.1.4, Figura 22).

10.2 Costos para la opción 2 – 230 viviendas

10.2.1 Costo de inversión

Inversión en la planificación del proyecto

Para el trabajo de planificación (incluyendo la ingeniería del proyecto) hay que contar con alrededor de **500.000 USD**. Esto incluye el diseño del proyecto, la elaboración del anteproyecto y la implementación, puesta en marcha, manejo del proyecto, permisos ambientales, asuntos legales y comunicación.

Tabla 25: Inversión en la planificación del proyecto

Planificación del proyecto				Porcentaje de la inversión			
Diseño del proyecto				2%	80.000	USD	
Anteproyecto e implementación				4%	120.000	USD	
Puesta en marcha				1%	30.000	USD	
Manejo del proyecto				3%	90.000	USD	
Permisos Ambientales				4%	120.000	USD	
Asuntos Legales				1%	20.000	USD	
Comunicación				1%	40.000	USD	
Costo Total: Planificación del proyecto				15%	500.000	USD	

Inversión en el almacenaje de biomasa y planta de biomasa / gas

La siguiente tabla muestra los costos de inversión del almacenaje de biomasa y la central térmica (370.000 USD), el costo de las 2 calderas de biomasa (810.000 USD), el costo de la caldera de gas (110.000 USD) y el costo de la edificación técnica y electricidad (530.000 USD). El costo total del almacenaje de biomasa y la planta de biomasa y gas es **1.820.000 USD**.

Tabla 26: Inversión en el almacenaje de biomasa y planta de biomasa / gas

Almacenaje de biomasa y Planta de biomasa / Gas					
Almacenaje de biomasa y central térmica		m ²	USD/m ²		
Construcción almacenaje	150 m ² , h = 5.0 m	150	400	60.000	USD
Construcción central térmica	200 m ² , h = 5.0 m	200	1.000	200.000	USD
Pala cargadora (Ocasional)				60.000	USD
Explanadora hidráulica				50.000	USD
Costo Total: Almacenaje de biomasa y central térmica				370.000	USD
Producción de energía térmica con 2 calderas de biomasa					
Caldera de combustión	900 kW, un reciclaje automatizado de la ceniza de la caldera, un ciclón múltiple y un filtro eléctrico, un tubo de caldera de limpieza automática completa			350.000	USD
Caldera de combustión	400 kW (idéntico al descrito arriba)			250.000	USD
Sistema de transporte para las astillas desde el almacén hasta la planta de biomasa, un suelo deslizante con cilindros hidráulicos y con transportadores de tornillo por separado, protección contra incendios				70.000	USD
Automatización: Control, regulación, armario de distribución				60.000	USD
Transporte, montaje, puesta en marcha, test				80.000	USD
Costo total: Producción de energía térmica con 2 calderas				810.000	USD
Producción de energía térmica con 1 caldera de gas					
Caldera de gas carga	900 kW con quemador de gas, sistema de seguridad y norma			60.000	USD
Planta de gas líquido				50.000	USD
Costo total: Producción de energía térmica con 1caldera de gas				110.000	USD
Edificación técnica y electricidad					
Instalación de calefacción, generación de calor: Maquinaria, cañería, accesorios, instrumentos, regulación, transporte, montaje				250.000	USD
Almacenamiento técnico				60.000	USD
Chimenea, aislada				80.000	USD
Instalación eléctrica				70.000	USD
Instalación ventilación				20.000	USD
Instalación sanitaria				10.000	USD
Aislamiento de instalaciones				40.000	USD
Costo total: Edificación técnica y electricidad				530.000	USD
Costo total: Inversión Almacenaje de materia prima y Planta de biomasa / Gas				1.820.000	USD

El costo total de las tuberías y la transmisión térmica es **1.537.400 USD**.

Tabla 27: Inversión en la calefacción distrital

Calefacción Distrital						
Tubería principal (DN 100 - DN 50)						
Tubería principal (avance y retroceso), metro de línea	550	m	400	USD/m	220.000	USD
Obra de perforación para tubería principal	550	m	40	USD/m	22.000	USD
Costo total: Tubería principal (DN 100 - DN 50)					242.000	CHF
Tuberías de ramificación (DN 40 - DN 20)						
Tubería de ramificación (avance y retroceso), metro de línea	1.500	m	300	USD/m	450.000	USD
Obra de perforación para tubería de ramificación (parcialmente estancada)	1.500	m	30	USD/m	45.000	USD
Costo total: Tubería de ramificación (DN 40 - DN 20)					495.000	USD
Conexión de la tubería a las viviendas						
Conexión de la tubería a las viviendas (avance y retroceso), metro de línea	2.070	m	200	USD/m	414.000	USD
Obra de perforación para cable (área no estancada)	2.070	m	20	USD/m	41.400	USD
Costo total: Conexión de la tubería a las viviendas					455.400	USD
Transmisión térmica						
Grifos, accesorios y contador térmico , incl. agua fresca con intercambiador térmico	230	unidad	1.500	USD/unidad	345.000	USD
Costo total: Transmisión térmica					345.000	USD
Total Inversión: Calefacción Distrital					1.537.400	USD

El costo de la inversión total es alrededor de 3,9 MM de USD.

Costo de inversión Total	3.857.400 USD
---------------------------------	----------------------

10.2.2 Costo de operación

El costo fijo de operación al año es alrededor de 63.030 USD, el costo variable asciende a 88.882 USD, el costo del capital de 330.312 USD, lo que se estima como bastante alto. En total, se tiene que considerar un costo de operación total de 482.224 USD.

Tabla 28: Costo de operación³⁸⁾

Costos de operación						
Amortizaciones						
Planificación	1	año				
Construcción: Calefacción distrital	25	años				
Técnica: Planta de biomasa, almacén	15	años				
Costo fijo de operación						
	al año					
Costo de electricidad Planta de biomasa	0,32	USD/ kWh	2%	por calor producido	19.909	USD/a
Servicio Caldera por el proveedor (mantención)					5.000	USD/a
Limpieza chimenea y medición de emisiones					1.500	USD/a
Asistencia de planta	8	USD/hrs	6	hrs./semanal	2.496	USD/a
Gasto administrativo	15	USD/hrs	100	hrs./a	1.500	USD/a
Otros gastos de mantención y producción	1,5%	Inversión en Caldera + Instalaciones			21.750	USD/a
Seguros	0,75%	Inversión en Caldera + Instalaciones			10.875	USD/a
Total: Costo fijo de operación					63.030	USD/a
Costo variable de Operación						
	al año					
Costo de combustible: Astillas y eliminación de ceniza	4.444	Sm ³	20	USD/Sm ³	88.882	USD/a
Total: Costo variable de operación					88.882	USD/a
Costo del Capital						
Costos financieros					133.723	USD/a
Amortización					196.589	USD/a
Total: Costo del Capital					330.312	USD/a
Total Costos de operación					482.224	USD/a

10.3 Costos para la opción 4 – 630 viviendas

10.3.1 Costo de inversión

Inversión en la planificación del proyecto

Para el trabajo de planificación (incluyendo la ingeniería del proyecto para las 630 viviendas) hay que contar con alrededor de **940.000 USD**.

Tabla 29: Inversión en la planificación del proyecto

Planificación del proyecto	Porcentaje de la inversión		
Diseño del proyecto	1%	120.000	USD
Anteproyecto e implementación	3%	280.000	USD
Puesta en marcha	1%	100.000	USD
Manejo del proyecto	2%	160.000	USD
Permisos Ambientales	2%	150.000	USD
Asuntos Legales	1%	70.000	USD
Comunicación	1%	60.000	USD
Costo Total: Planificación del proyecto	10%	940.000	USD

38) Precio de 1 Sm³: Precio de 1 m³ de leña en Coyhaique es 18.520 CLP (ca. 40 USD) en el 2012. 1 m³ corresponde a 2.8 Sm³ de astillas. 1 Sm³ de biomasa (materia prima para astillas) cuesta 14 USD (40 USD/2.8 Sm³). El costo de la producción de astillas: 6 USD por 1 Sm³. Supuesto: El precio de 1 Sm³ de astillas es aprox. 20 USD. Si se usa los residuos forestales, el precio podría ser un poco más bajo.

Inversión en el almacenaje de biomasa y planta de biomasa / gas

La siguiente tabla muestra los costos de inversión del almacenaje de biomasa y la central térmica para las 630 viviendas. El costo total del almacenaje de biomasa y la planta de biomasa y gas es **4.385.000 USD**.

Tabla 30: Inversión en el almacenaje de biomasa y planta de biomasa / gas

Almacenaje de biomasa y Planta de biomasa / Gas					
Almacenaje de biomasa y central térmica					
		m2	USD/m2		
Construcción almacenaje	350 m2, h = 6.0 m	350	500	175.000	USD
Construcción central térmica	450 m2, h = 7.0 m	450	1.400	630.000	USD
Pala cargadora (Ocasional)				150.000	USD
Explanadora hidráulica				130.000	USD
Costo Total: Almacenaje de biomasa y central térmica				1.085.000	USD
Producción de energía térmica con 2 calderas de biomasa					
Caldera de combustión 3400 kW, un reciclaje automatizado de la ceniza de la caldera, un ciclón múltiple y un filtro eléctrico, un tubo de caldera de limpieza automática completa				800.000	USD
Caldera de combustión 1600 kW (idéntico al descrito arriba)				500.000	USD
Sistema de transporte para las astillas desde el almacén hasta la planta de biomasa, un suelo deslizante con cilindros hidráulicos y con transportadores de tornillo por separado, protección contra incendios				150.000	USD
Automatización: Control, regulación, armario de distribución				100.000	USD
Transporte, montaje, puesta en marcha, test				130.000	USD
Costo total: Producción de energía térmica con 2 calderas				1.680.000	USD
Producción de energía térmica con 1 caldera de gas					
Caldera de gas carga 3400 kW con quemador de gas, sistema de seguridad y norma				180.000	USD
Planta de gas líquido				120.000	USD
Costo total: Producción de energía térmica con 1 caldera de gas				300.000	USD
Edificación técnica y electricidad					
Instalación de calefacción, generación de calor: Maquinaria, cañería, accesorios, instrumentos, regulación, transporte, montaje				650.000	USD
Almacenamiento técnico				180.000	USD
Chimenea, aislada				180.000	USD
Instalación eléctrica				150.000	USD
Instalación ventilación				40.000	USD
Instalación sanitaria				20.000	USD
Aislamiento de instalaciones				100.000	USD
Costo total: Edificación técnica y electricidad				1.320.000	USD
Costo total: Inversión Almacenaje de materia prima y Planta de biomasa / Gas				4.385.000	USD

El costo total de las tuberías y la transmisión térmica es de **4.873.000 USD**.

Tabla 31: Inversión en la calefacción distrital

Calefacción Distrital					
Tubería principal					
Tubería principal (avance y retroceso), metro de línea	1500 m	600 USD/m		900.000	USD
Obra de perforación para tubería principal	1500 m	60 USD/m		90.000	USD
Costo total: Tubería principal				990.000	USD
Tuberías de ramificación					
Tubería de ramificación (avance y retroceso), metro de línea	4100 m	350 USD/m		1.435.000	USD
Obra de perforación para tubería de ramificación (parcialmente estancada)	4100 m	30 USD/m		123.000	USD
Costo total: Tubería de ramificación				1.558.000	USD
Conexión de la tubería a las viviendas					
Conexión de la tubería a las viviendas (avance y retroceso), metro de línea	5700 m	200 USD/m		1.140.000	USD
Obra de perforación para cable (área no estancada)	5700 m	20 USD/m		114.000	USD
Costo total: Conexión de la tubería a las viviendas				1.254.000	USD
Transmisión térmica					
Grifos, accesorios y contador térmico , incl. agua fresca con intercambiador térmico	630 unidad	1.700 USD/unidad		1.071.000	USD
Costo total: Transmisión térmica				1.071.000	USD
Total Inversión: Calefacción Distrital				4.873.000	USD

El costo de la inversión total es alrededor de 10,2 MM de USD.

Costo de inversión Total	10.198.000 USD
---------------------------------	-----------------------

10.3.2 Costo de operación

El costo total de operación al año es alrededor 1.265.312 de USD.

Tabla 32: Costo de operación

Costos de operación					
Amortizaciones					
Planificación	1 año				
Construcción: Calefacción distrital	25 años				
Técnica: Planta de biomasa, almacen	15 años				
Costo fijo de operación al año					
Costo de electricidad Planta de biomasa	0,32 USD/ kWh	2%	por calor producido	54.535	USD/a
Servicio Caldera por el proveedor (mantención)				15.000	USD/a
Limpieza chimenea y medición de emisiones				2.000	USD/a
Asistencia de planta	8 USD/hrs	9 hrs./semanal		3.744	USD/a
Gasto administrativo	15 USD/hrs	150 hrs./a		2.250	USD/a
Otros gastos de mantención y producción	1,5%	Inversión en Caldera + Instalaciones		49.500	USD/a
Seguros	0,75%	Inversión en Caldera + Instalaciones		24.750	USD/a
Total: Costo fijo de operación				151.779	USD/a
Costo Variable Operación al año					
Costo de combustible: Astillas y eliminación de ceniza	12.173 Sm ³	20 USD/Sm ³		243.458	USD/a
Total: Costo variable de operación				243.458	USD/a
Costo del Capital					
Costos financieros				353.531	USD/a
Amortización				516.544	USD/a
Total: Costo del Capital				870.075	USD/a
Total Costos de operación				1.265.312	USD/a

10.4 Sistema de subsidio y cobranza a los usuarios

El Gobierno chileno tiene las siguientes oportunidades para hacer que el proyecto sea económicamente más atractivo:

- *Reducción de los costes de inversión:* El Gobierno chileno puede ofrecer a los inversionistas un "A Fond Perdú", esta sería una contribución del sector público con el fin de reducir los costos de inversión para promover una tecnología con alto potencial e impactos positivos al medio ambiente.
- *Préstamo con bajo interés:* Otra posibilidad es que el Gobierno chileno genere un préstamo específico con un interés más bajo al de mercado para mejorar la rentabilidad en términos del costo de capital.
- *Reducción de los costos anuales de energía térmica para los usuarios:* El gobierno chileno podría cubrir un cierto porcentaje de los costos anuales de energía térmica para los usuarios. El costo anual para una familia en Coyhaique para la producción de energía térmica a base de leña es alrededor de 960 USD (supuesto para una familia que necesita alrededor de 24 m³ de leña; precio estimado: 40 USD). El Gobierno chileno podría cubrir para las familias la

diferencia del costo de la energía anual que sobrepasa los 960 USD. Esta herramienta opera bajo la misma filosofía del bono de leña que actualmente se entrega en la región, permitiendo la accesibilidad a una energía más limpia a una mayor cantidad de habitantes.

10.5 Cash – Flow y factibilidad económica

10.5.1 Cash - Flow sin subsidios

En la siguiente tabla, se calcula la factibilidad económica de la opción 2 con 230 viviendas y la opción 4 con 630 viviendas. Los cálculos están descritos en detalle en el Anexo 4. Se calcula la factibilidad económica bajo el supuesto, que el precio de venta de energía es 13 cts/kWh. Es el precio que los usuarios están dispuestos a pagar en Coyhaique.

La opción 2 – 230 viviendas

La siguiente tabla muestra los supuestos para calcular la factibilidad económica de la opción 2. Sin subsidios resulta un **TIR de – 5.17%**.

Tabla 33: Datos generales y finanzas de la opción 2 sin subsidios

Datos generales		Finanzas	
Costo de combustible: Astillas y eliminación de ceniza	20 USD/Sm ³	Costo de inversión	3.857.400 USD
Inflación	2,5%	Subsidio	
Impuestos sobre beneficios	20%	Inversión real	3.857.400 USD
		Capital propio	100% 3.857.400 USD
Número de viviendas	230 *	Crédito	0% - USD
Precio de venta de energía	13 cts/kWh	Tasa de interés del crédito	6%
Subsidios del estado	cts/kWh	Largo del crédito	10 años*
Demanda de energía térmica viviendas	12.173 kWh/a	Planificación	1 años
		Construcción: Calefacción distrital	25 años
		Técnica: Planta de biomasa, almacén	15 años
		Horizonte del modelo	15 años*
*: El cambio de estos datos necesita una adaptación del modelo			

Resultados	
Promedio costos financieros	-
Amortización en promedio anual	-245.736
Valor residual calefacción distrital	171.360
Beneficio	-2.857.066
TIR	-5,17%

La opción 4 – 630 viviendas

La siguiente tabla muestra los supuestos para calcular la factibilidad económica de la opción 4. Sin subsidios, se resulta un **TIR de – 4.86%**.

Tabla 34: Datos generales y finanzas de la opción 4 sin subsidios

Datos generales		Finanzas	
Costo de combustible: Astillas y eliminación de cenizas	20 USD/Sm ³	Costo de inversión	10.198.000 USD
Inflación	2,5%	Subsidio	
Impuestos sobre beneficios	20%	Inversión real	10.198.000 USD
Número de viviendas	630 *	Capital propio	10.198.000 USD
Precio de venta de energía	13 cts/kWh	Crédito	0% - USD
Subsidios del estado		Tasa de interés del crédito	6%
Demanda de energía térmica viviendas	12.173 kWh/a	Largo del crédito	10 años*
		Planificación	1 años
		Construcción: Calefacción distrital	25 años
		Técnica: Planta de biomasa, almacén	15 años
		Horizonte del modelo	15 años*

*: El cambio de estos datos necesita una adaptación del modelo

Resultados	
Promedio costos financieros	-
Amortización en promedio anual	-645.680
Valor residual calefacción distrital	512.800
Beneficio	- 7.057.297
TIR	-4,86%

Conclusión: La factibilidad económica de la calefacción distrital en Coyhaique con la construcción de viviendas previstas, en cuanto a tamaño, forma y tipo de la urbanización, no se logra sin subsidios del gobierno chileno.

10.5.2 Cash - Flow con subsidios

A continuación se muestra el Cash-Flow de las dos opciones 2 y 4 con subsidios. Se puede denotar lo siguiente:

- Se supone que los usuarios están dispuestos de pagar el mismo precio para la energía térmica en Coyhaique como lo hacen actualmente (13 cts / kWh)³⁹).
- El proyecto debe tener más de un 5% de rentabilidad. Para obtener dicha devolución, se asumió que el gobierno chileno subsidie el precio de la energía y participe en los costos de inversión.
- El inversionista tiene el 50% del capital de un préstamo al 6%. El cual será amortizado en un lapso de 10 años. El resto es capital privado.
- Todo el sistema es operado en la práctica 15 años.

39) Una familia consume al año alrededor de 24 m³ de leña por un precio de ca. 40 USD (Total de 960 USD/año). Con una demanda de energía térmica de viviendas de 12.173 kWh/a, significa que el usuario está dispuesto a pagar 13 cts/kWh.

Factibilidad económica para la opción 2 – 230 viviendas

CASH FLOW 230 VIVIENDAS																			
Datos generales			Finanzas						Resultados										
Costo de combustible: Astillas y eliminación de ceniza	20	USD/Sm3	Costo de inversión	3.857.400		USD		Promedio costos financieros	-133.723										
Inflación	2,5%		Subsidio	20%				Amortización en promedio anual	-196.589										
Impuestos sobre beneficios	20%		Inversión real	3.085.920		USD		Valor residual calefacción distrital	137.088										
Número de viviendas	230	*	Capital propio	50%	1.542.960	USD		Beneficio	1.099.312										
Precio de venta de energía	13	cts/kWh	Crédito	50%	1.542.960	USD		TIR	5,21%										
Subsidios del estado	10	cts/kWh	Tasa de interés del crédito	6%				TIR											
Demanda de energía térmica viviendas	12.173	kWh/a	Largo del crédito	10 años*				Con ingresos de 13 cts del cliente y del estado	4,59%										
			Planificación	1 años				Con un subsidio de 65% de la inversión	5,66%										
			Construcción: Calefacción distrital	25 años				Con un interés de 2% y 10cts/kWh	1,97%										
			Técnica: Planta de biomasa, almacén	15 años															
			Horizonte del modelo	15 años*															
*: El cambio de estos datos necesita una adaptación del modelo																			
Año	(somos)	(control)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
todo en USD, incl. inflación																			
Inversiones																			
Planificación del proyecto	- 3.085.920	-	-400.000																
Construcción				- 342.720															
Técnica				- 2.343.200															
Ingresos																			
Pago anual por vivienda					1.582	1.622	1.663	1.704	1.747	1.790	1.835	1.881	1.928	1.976	2.026	2.076	2.128	2.181	2.236
Subsidios del estado del precio de energía					1.217	1.248	1.279	1.311	1.344	1.377	1.412	1.447	1.483	1.520	1.558	1.597	1.637	1.678	1.720
Ingresos anuales	11.547.218				643.947	660.046	676.547	693.461	710.797	728.567	746.782	765.451	784.587	804.202	824.307	844.915	866.038	887.689	909.881
Gastos																			
Costos de operación	- 2.724.077				- 151.912	- 155.710	- 159.603	- 163.593	- 167.683	- 171.875	- 176.171	- 180.576	- 185.090	- 189.717	- 194.460	- 199.322	- 204.305	- 209.413	- 214.648
Costo fijo de operación	- 1.130.258				- 63.030	- 64.606	- 66.221	- 67.877	- 69.574	- 71.313	- 73.096	- 74.923	- 76.797	- 78.716	- 80.684	- 82.701	- 84.769	- 86.888	- 89.060
Costo variable de Operación	- 1.593.819				- 88.882	- 91.104	- 93.381	- 95.716	- 98.109	- 100.561	- 103.075	- 105.652	- 108.294	- 111.001	- 113.776	- 116.620	- 119.536	- 122.524	- 125.587
Costos financieros	- 2.005.848				- 242.245	- 232.987	- 223.729	- 214.471	- 205.214	- 195.956	- 186.698	- 177.440	- 168.183	- 158.925					
Devolución del crédito	- 1.542.960	-			- 154.296	- 154.296	- 154.296	- 154.296	- 154.296	- 154.296	- 154.296	- 154.296	- 154.296	- 154.296					
Pago de interés	- 462.888				- 87.949	- 78.691	- 69.433	- 60.175	- 50.918	- 41.660	- 32.402	- 23.144	- 13.887	- 4.629					
Gastos sin amortización	- 4.729.925				- 394.157	- 388.697	- 383.332	- 378.064	- 372.896	- 367.831	- 362.870	- 358.016	- 353.273	- 348.642	- 344.000	- 339.358	- 334.716	- 330.074	- 325.432
Amortización					- 569.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922	- 169.922
Planificación	- 400.000	-			- 400.000														
Calefacción distrital	- 205.632	-			- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709	- 13.709
Técnica	- 2.343.200	-			-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213	-156.213
Gastos incl. amortización					- 964.079	- 728.541	- 723.176	- 717.908	- 712.741	- 707.675	- 702.714	- 697.860	- 693.117	- 688.487	- 683.845	- 679.193	- 674.541	- 669.889	- 665.237
Beneficios																			
Beneficios antes de los impuestos	1.489.552				- 320.132	- 68.495	- 46.629	- 24.447	- 1.943	20.893	44.068	67.591	91.470	115.716	290.003	305.749	321.889	338.432	355.389
Impuestos sobre beneficios	- 390.239				-	-	-	-	-	4.179	8.814	13.518	18.294	23.143	58.001	61.150	64.378	67.686	71.078
Beneficios después impuestos (TIR)	1.099.312				- 320.132	- 68.495	- 46.629	- 24.447	- 1.943	16.714	35.254	54.073	73.176	92.572	232.002	244.599	257.511	270.745	284.311
Valor de la inversión restante					- 2.515.998	-2.346.076	-2.176.154	-2.006.231	-1.836.309	-1.666.387	-1.496.465	-1.326.543	-1.156.621	-986.699	-816.777	-646.854	-476.932	-307.010	-137.088
Valor del crédito restante					1.388.664	1.234.368	1.080.072	925.776	771.480	617.184	462.888	308.592	154.296	-					

Factibilidad económica para la opción 4 – 630 viviendas

CASH FLOW 630 VIVIENDAS																			
Datos generales		Finanzas					Resultados												
Costo de combustible: Astillas y eliminación de cenizas	20 USD/Sm3	Costo de inversión	10.198.000 USD				Promedio costos financieros					-353.531							
Inflación	2,5%	Subsidio	20%				Amortización en promedio anual					-516.544							
Impuestos sobre beneficios	20%	Inversión real	8.158.400 USD				Valor residual calefacción distrital					410.240							
Número de viviendas	630 *	Capital propio	50%				Beneficio					3.819.175							
Precio de Venta de energía	13 cts/kWh	Crédito	50%				TIR					6,94%							
Subsidios del estado	10 cts/kWh	Tasa de interés del crédito	6%				TIR												
Demanda de energía térmica viviendas	12.173 kWh/a	Largo del crédito	10 años*				Con ingresos de 13 cts del cliente y del estado					5,55%							
*: El cambio de estos datos necesita una adaptación del modelo		Planificación	1 años				Con un subsidio de 65% de la inversión					7,19%							
		Construcción: Calefacción distrital	25 años				Con un interés de 2% y 10cts/kWh					2,37%							
		Técnica: Planta de biomasa, almacén	15 años																
		Horizonte del modelo	15 años*																
Año	(somos)	(control)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
todo en USD, incl. inflación																			
Inversiones																			
Planificación del proyecto	- 8.158.400	-	- 752.000																
Construcción						- 1.025.600													
Técnica						- 6.380.800													
Ingresos																			
Pago anual por vivienda					1.582	1.622	1.663	1.704	1.747	1.790	1.835	1.881	1.928	1.976	2.026	2.076	2.128	2.181	2.236
Subsidios del estado del precio de energía					1.217	1.248	1.279	1.311	1.344	1.377	1.412	1.447	1.483	1.520	1.558	1.597	1.637	1.678	1.720
Ingresos anuales	31.629.337				1.763.856	1.807.952	1.853.151	1.899.480	1.946.967	1.995.641	2.045.532	2.096.671	2.149.087	2.202.815	2.257.885	2.314.332	2.372.190	2.431.495	2.492.282
Gastos																			
Costos de operación	- 7.087.362				- 395.237	- 405.118	- 415.246	- 425.627	- 436.268	- 447.174	- 458.354	- 469.813	- 481.558	- 493.597	- 505.937	- 518.585	- 531.550	- 544.839	- 558.460
Costo fijo de operación	- 2.721.684				- 151.779	- 155.573	- 159.462	- 163.449	- 167.535	- 171.724	- 176.017	- 180.417	- 184.928	- 189.551	- 194.290	- 199.147	- 204.125	- 209.229	- 214.459
Costo variable de operación	- 4.365.678				- 243.458	- 249.545	- 255.783	- 262.178	- 268.733	- 275.451	- 282.337	- 289.396	- 296.630	- 304.046	- 311.647	- 319.439	- 327.424	- 335.610	- 344.000
Costos financieros	- 5.302.960				- 640.434	- 615.959	- 591.484	- 567.009	- 542.534	- 518.058	- 493.583	- 469.108	- 444.633	- 420.158					
Devolución del crédito	- 4.079.200	-			- 407.920	- 407.920	- 407.920	- 407.920	- 407.920	- 407.920	- 407.920	- 407.920	- 407.920	- 407.920					
Pago de interés	- 1.223.760				- 232.514	- 208.039	- 183.564	- 159.089	- 134.614	- 110.138	- 85.663	- 61.188	- 36.713	- 12.238					
Gastos sin amortización	- 12.390.322				- 1.035.671	- 1.021.077	- 1.006.730	- 992.636	- 978.801	- 965.233	- 951.937	- 938.921	- 926.191	- 913.755	- 505.937	- 518.585	- 531.550	- 544.839	- 558.460
Amortización					- 1.218.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411	- 466.411
Planificación	- 752.000	-			- 752.000														
Calefacción distrital	- 615.360	-			- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024	- 41.024
Técnica	- 6.380.800	-			- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387	- 425.387
Gastos incl. amortización					- 2.254.082	- 1.953.899	- 1.939.551	- 1.925.457	- 1.911.623	- 1.898.054	- 1.884.758	- 1.871.742	- 1.859.012	- 1.846.576	- 1.438.758	- 1.451.407	- 1.464.371	- 1.477.660	- 1.491.281
Beneficios																			
Beneficios antes de los impuestos	4.961.106				- 490.226	- 145.946	- 86.400	- 25.977	35.344	97.587	160.774	224.929	290.075	356.239	819.127	862.925	907.819	953.835	1.001.001
Impuestos sobre beneficios	- 1.141.931				-	-	-	-	- 7.069	- 19.517	- 32.155	- 44.986	- 58.015	- 71.248	- 163.825	- 172.585	- 181.564	- 190.767	- 200.200
Beneficios después impuestos (TIR)	3.819.175				- 490.226	- 145.946	- 86.400	- 25.977	28.275	78.070	128.619	179.943	232.060	284.991	655.301	690.340	726.255	763.068	800.801
Valor de la inversión restante					- 6.939.989	- 6.473.579	- 6.007.168	- 5.540.757	- 5.074.347	- 4.607.936	- 4.141.525	- 3.675.115	- 3.208.704	- 2.742.293	- 2.275.883	- 1.809.472	- 1.343.061	- 876.651	- 410.240
Valor del crédito restante					3.671.280	3.263.360	2.855.440	2.447.520	2.039.600	1.631.680	1.223.760	815.840	407.920	-					

10.5.3 Conclusiones

Concluimos de la siguiente manera:

- Bajo los supuestos presentados, el gobierno chileno tiene que subsidiar la calefacción distrital en Coyhaique para tener un TIR > 5%.
- Para cubrir los costos de producción de energía térmica, el gobierno tiene que pagar 10 cts/kWh al año por precio para la energía térmica en Coyhaique para los dos opciones. El usuario solamente está dispuesto a pagar 13 cts/kWh.
- Para lograr un TIR > 5%, el gobierno chileno tiene que invertir en la opción 2 con 230 viviendas aproximadamente el 20% del costo de inversión (aprox. 771.480 USD).
- En la opción 4 con 630 viviendas, el gobierno tiene que invertir aprox. 2.039.600 USD para reducir el costo de inversión.

En Europa las calefacciones distritales son muy abundantes y en muchos países existen otros motivos para invertir en la calefacción distrital. Aquí presentamos algunas razones por las cuáles existen tantas plantas de biomasa y de calefacción distrital en Suiza / Europa:

- *Normativa:* Por ejemplo en Suiza, hay una norma vigente para proteger la calidad del aire. En esta normativa, están regulados la calidad de combustible y los límites de emisiones anuales de PM10 y PM2.5. Todas las calderas > 70 kW tienen que corresponder a los requisitos de la normativa. Para una calefacción distrital, las emisiones no deberían superar el 20 mg/Nm³ al año. La calefacción distrital en Suiza no es obligatoria ni está subsidiada por el gobierno.
- *Forma y tamaño de las viviendas:* Una calefacción distrital a base de biomasa está construida para edificios grandes, cuya construcción es densa y compacta o se encuentra en zonas muy pobladas. Así, la demanda de energía térmica en poco espacio es relativamente alta y mejora la rentabilidad de la planta. Con los dos indicadores "Densidad de enlace de la calefacción distrital" y la "Densidad del consumo de la energía térmica" se puede expresar si la conexión de las viviendas en una calefacción distrital es apropiada. En las dos opciones en Coyhaique, los dos indicadores no logran el valor meta.

Tabla 35: Comparación de las 2 opciones con un valor meta (densidad de enlace de la calefacción distrital y densidad del consumo de la energía térmica)

Indicadores	Opción 2 230 viviendas	Opción 4 630 viviendas	Valor meta
Densidad de enlace de la calefacción distrital (MWh/a)m	0.58	0.58	> 1.2
Densidad del consumo de la energía térmica (kWh/m ² área)	31	33	>50

- *Poca fluctuación del precio en biomasa:* En los últimos años, se ha observado una alta fluctuación de los precios del petróleo y gas mientras los precios de biomasa fueron mucho más estables. Para garantizar la seguridad de las inversiones a mediano y largo plazo, los usuarios prefieren invertir en fuentes de energía a base de biomasa por la poca fluctuación de los precios.
- *Disminución de las emisiones:* Las personas están sensibilizadas a los efectos ambientales negativos por el uso de energía fósil y el uso de leña en pequeñas calderas sin filtros. Prefieren invertir en una fuente de energía limpia.
- *Comodidad:* La gente no quiere invertir mucho tiempo para preparar la leña. Quieren un sistema de energía seguro, estable y cómodo.
- *Aprovechar los recursos locales:* La población local quiere usar los recursos disponibles a nivel local para su propia producción de energía: Por un lado con el fin de crear puestos de trabajo en las regiones, así como para reducir la dependencia energética.
- *Confiable y creíble:* Los proyectos actuales han demostrado que la calefacción distrital es una muy buena alternativa para el suministro de energía limpia. Los inversionistas tienen la confianza para invertir en estos proyectos.

10.6 Instrumentos de financiamiento alternativo

Los mercados de carbono ofrecen instrumentos de financiamiento alternativo para una gran variedad de proyectos sostenibles, basados en energía renovable. Los estándares de carbono, como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) del Protocolo de Kioto o el Verified Carbon Standard (VCS), los cuales operan en el mercado de carbono voluntario, proveen una multitud de metodologías para la generación de bonos de carbono.

Un principio fundamental de tales estándares es la comparación de las emisiones de CO₂ del proyecto, en este caso la calefacción distrital en Coyhaique, con la situación sin proyecto, llamado línea de base. Los bonos de carbono se generan en base al ahorro de toneladas de emisiones de CO₂ equivalentes (tCO₂). Por eso una gran proporción de proyectos son de los siguientes tipos:

- Sustitución de combustibles fósiles (altas emisiones de CO₂ en la línea base) con combustibles renovables como biomasa, solar, hidroeléctrica, eólica (pocas emisiones de CO₂ en el proyecto);
- Mejoramiento de eficiencia energética en el uso de combustibles fósiles;
- Cambio de combustibles fósiles con altas emisiones (por ejemplo petróleo) en combustibles fósiles de pocas emisiones (por ejemplo gas natural).

Dada esta situación, se definen las siguientes opciones de generación de bonos de carbono:

- *Sustitución de calefacción basada en gas o petróleo:* En el caso de que la calefacción distrital a base de biomasa substituya, por lo menos en parte, la calefacción que usa combustibles fósiles. La cantidad de bonos de carbono se calculan en base de la cantidad de petróleo o gas sustituido por año.
- *Sustitución de agua caliente basado en calentador de agua usando gas:* La calefacción distrital puede reemplazar agua caliente generada con gas. La cantidad de bonos de carbono se calculan en base de la cantidad de gas reemplazado por año.

Para conducir un análisis de costos y beneficios hace falta conocer la cantidad de combustibles fósiles sustituido por la calefacción distrital por año.

11 Términos de referencias

11.1 Ciclo del proyecto y elementos por fases

En la siguiente figura se resume el ciclo del proyecto para la planificación y realización de la calefacción distrital en Coyhaique. Se ha terminado con la fase 1. En la fase 2, se tiene que informar a los actores sobre los resultados del proyecto y comenzar con la organización de aquellos actores que quieren participar en un proyecto piloto y demostrativo en Coyhaique. Todos los actores interesados deben estar involucrados en la toma de decisiones respecto a la continuación del proyecto. Lo más importante es la decisión del gobierno de Chile para apoyar al proyecto con financiamiento público.

Figura 29: Fases y elementos de los próximos pasos

Fases	Elementos
1. Estudio de Prefactibilidad	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intereses y recursos de los actores involucrados ▪ Evaluación del potencial de biomasa ▪ Estudio de la demanda de energía térmica ▪ Preparación del concepto del proyecto ▪ Financiamiento y rentabilidad ▪ Estimación del impacto ambiental y social ▪ Nuevos modelos de organización y gestión ▪ Conclusión
2. Comunicación y Decisión	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Decisión del sector público para subsidiar el proyecto ▪ Comunicación de los resultados ▪ Organización de los actores locales interesados
3. Anteproyecto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Detallar el concepto de sistemas de ingeniería ▪ Descripción de las opciones tecnológicas ▪ Detallar los costos de la inversión y de operación ▪ Convenios y contratos ▪ Comunicación e información ▪ Cronograma de actividades
4. Diseño del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Plan de ejecución ▪ Proceso de aprobación legal / ambiental ▪ Licitaciones y selección de las empresas ▪ Contratos de trabajo ▪ Contratos con los demandantes de energía térmica
5. Implementación	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planificación ejecutiva ▪ Coordinación y aseguramiento de la calidad ▪ Control de costos ▪ Entrega de la planta y comunicación mediante prensa

11.2 Plan de actividades

La siguiente figura muestra los plazos para la implementación del proyecto. Se diferencian 4 fases desde el informe final y comunicación hasta la construcción del proyecto. El anteproyecto y el diseño del proyecto se pueden elaborar en alrededor de un año, si se toman las decisiones adecuadas para avanzar con el proyecto. La implementación de la construcción de la planta de biomasa y de la calefacción distrital puede empezarse recién en enero 2014.

Plan de actividades		2013												2014											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Fases	Actividades																								
1	Informe Final y Comunicación																								
	Enviar un documento escrito a todos los actores involucrados. Presentar los resultados al sector público, a los actores forestales y al sector energético en Coyhaique. Presentar los resultados al servicio militar. Realizar una presentación pública para todos los interesados. Publicar en el periódico en Coyhaique.																								
2	Organización y Decisión																								
	Definir la organización, el plan de actividad y el financiamiento del proyecto. Elaborar una propuesta para la incorporación del sector público, forestal y energético de Coyhaique. Definir la organización, el financiamiento y los actores que quieran invertir en el proyecto. Tomar una decisión para la realización del proyecto (sector forestal, sector energético y el sector público).																								
3	Anteproyecto y diseño del proyecto																								
	Elaborar los requisitos básicos para el anteproyecto y diseño del proyecto Hacer una licitación para seleccionar una empresa de planificación e ingeniería Evaluar y definir el equipo del proyecto Elaborar el anteproyecto y diseño del proyecto: Optimizar el sistema del concepto (planta de biomasa, calefacción distrital y requisitos de las viviendas) Realizar una oferta y presupuesto de la construcción Realizar una oferta y presupuesto del diseño, elaborado por un arquitecto Realizar oferta y presupuesto de la planta de biomasa y calefacción distrital Elaborar los planes y disposición Calcular los costos detallados del sistema Costos de operación y mantenimiento, evaluación económica Decisión final para la construcción del proyecto																								
4	Construcción del proyecto																								
	Organización del abastecimiento de biomasa. Estructura de la organización. Definir los servicios. Especificar los precios de la biomasa. Asegurar el financiamiento. Contrato final con los usuarios. Elaboración del proyecto de construcción. Plan de negocios / caso de negocios. Licitación para la construcción.																								

11.3 Competencias de la empresa en las próximas fases

El estudio de factibilidad ha demostrado que la operación de una red de calefacción de astillas de madera en Coyhaique es técnicamente factible. La calefacción distrital tiene principalmente un efecto muy positivo sobre el medio ambiente: La contaminación puede ser reducida en un 99% con su instalación. Económicamente el proyecto dentro de las condiciones especificadas, sin el apoyo financiero del Estado de Chile, no es rentable.

Hasta mayo 2013, se tiene que comunicar los resultados del estudio para generar la aprobación del proyecto para entrar en la fase del anteproyecto. El objetivo debe ser que los actores públicos y privados a mayo 2013 aprueben la continuación del proyecto para entrar en la fase

del anteproyecto y diseño del mismo. Estos temas constituyen todavía intensos debates con las partes interesadas del sector privado y el sector público.

Para poder llegar a una decisión final para la construcción del proyecto el fin de 2013, es necesario el anteproyecto y el diseño del proyecto. Esta fase debería ser dirigida por un arquitecto conocido que conozca muy bien Coyhaique y sus características para la construcción de una planta de biomasa y de la calefacción distrital. Este arquitecto debería ser apoyado por una empresa externa que tenga experiencia en el diseño y la construcción de una planta de biomasa y calefacción distrital para garantizar la calidad del proyecto.

El anteproyecto y el diseño deberían cumplir los siguientes requisitos:

- Selección final de la opción
- Investigación preliminar de autorización y aprobación de la planta de biomasa
- Determinación definitiva de los usuarios de energía térmica
- Análisis definitivo de las características de las viviendas para conectar al sistema de la calefacción distrital
- Adaptación del tamaño de la planta de biomasa y de la calefacción distrital
- Definir las características de los equipos
- Organización del proyecto y definición del proceso (GU / TU / contratación / empresario individual)
- Obtener cotizaciones de los proveedores de tecnología / evaluación del equipo del proyecto
- Invitación de proveedores de tecnologías
- Adaptación del cálculo económico de la red de calefacción en presencia del diseño preliminar, definición de inversión y los costes de producción de calor con una precisión de 10%
- Elaboración de perfil de proyectos para conseguir un financiamiento nacional e internacional
- Ajustar las contribuciones de subvenciones, de modo que el sistema puede ser operado rentablemente
- Asegurar el abastecimiento de biomasa de alta calidad en Coyhaique
- Contratos con los posibles proveedores de biomasa en Coyhaique

12 Conclusiones y recomendaciones

12.1 Resumen de los resultados

Después del estudio realizado en Coyhaique, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- **Reducción de la contaminación mediante una calefacción distrital:** Coyhaique tiene un gran problema con la contaminación del aire. Se estima una emisión de 2'500 mg/Nm³ al año con calefacciones individuales. En la calefacción distrital con los filtros electrostáticos, se genera alrededor de 20 mg/Nm³ al año para las 230 viviendas. Con la instalación de una calefacción distrital en la urbanización, se puede reducir 99% las emisiones anuales de este proyecto urbanístico.
- **Gran disponibilidad de biomasa en Coyhaique:** Uno de los desafíos en la gestión de una planta de biomasa es la disponibilidad y abastecimiento de biomasa de alta calidad para asegurar el abastecimiento seguro, constante y económico de biomasa. En Coyhaique, la disponibilidad de biomasa no es un problema: Existe más de 45'000 ha de plantaciones forestales y muchos grandes propietarios de bosque nativo que tienen alto interés en suministrar astillas a la calefacción distrital. Para el proyecto piloto se requiere alrededor de 4'400 Sm³ astillas anualmente. Además, los actores forestales no solamente han demostrado su interés en el abastecimiento de la planta sino también quieren formar parte de la planta de biomasa y calefacción distrital, como inversionistas. Sería interesante construir un patio de energía, planificado e implementado por una organización forestal que podría estar a cargo del suministro de astillas para la planta de biomasa.
- **Alto interés de los actores forestales y del sector energético en la planta de biomasa:** Los actores forestales, así como CMPC o actores del sector energético han demostrado tener interés en participar en el proyecto (por ejemplo SAESA). Otros actores forestales, con los que se ha discutido acerca del proyecto, como por ejemplo Arauco, podrían estar interesados en entrar en un nuevo mercado. El mercado de energía térmica todavía es inexistente en Chile. Es importante destacar, que los actores locales deberían estar involucrados en este tipo de proyecto, sin descartar la posibilidad de desarrollar alianzas con inversionistas extranjeros.
- **Las viviendas sociales no cumplen con los requisitos de la eficiencia energética:** En relación a los requisitos energéticos, las viviendas sociales no logran un nivel óptimo para ser consideradas en una urbanización con una calefacción distrital a base de biomasa. El mal aislamiento de las viviendas sociales causan un alto costo de inversión para el sistema energético y un alto costo de combustible anual para calentar las viviendas sociales. Las viviendas deberían cumplir los requisitos energéticos para conectarse a la calefacción

distrital. También se tiene que considerar, que la calefacción distrital a base de biomasa normalmente está construida para edificios grandes, cuyas construcciones son densas y compactas o están en zonas muy pobladas. Así, la demanda de energía térmica en poco espacio es relativamente alta y mejora la rentabilidad de la planta.

- **Priorización de las 230 viviendas del servicio militar con la instalación de la planta de biomasa:** Se propone iniciar un proyecto piloto y demostrativo con las 230 viviendas del servicio militar, sin incluir las viviendas sociales. Los propietarios de la planta de biomasa y de la calefacción distrital tendría un actor, el Ejército de Chile, con quien ellos pueden hacer un contrato. La inseguridad para los inversionistas es mucho menor que la opción con las viviendas sociales, donde tendrían que tener con cada vivienda un contrato de prestación de servicios. Un aspecto adicional es que las personas de las 230 viviendas no son de Coyhaique y la leña no es parte de su cultura. Los usuarios tienen que estar comprometidos en consumir energía térmica a base de la calefacción distrital durante varios años para garantizar a largo plazo el suministro de calor. Esto es importante para justificar las inversiones al inicio del proyecto.
- **Una colaboración entre el sector público y privado para garantizar la rentabilidad:** El proyecto no es rentable sin el apoyo financiero del gobierno chileno. El gobierno puede reducir los costes de inversión con un "A Fond Perdú", puede dar un préstamo con bajo interés o puede reducir los costos anuales de energía térmica para los usuarios. Chile carece de experiencia respecto al diseño, planificación y gestión en el tema de calefacción distrital. Es muy importante para todo el sector de energía renovable (tanto público como privado), que el proyecto piloto y demostrativo funcione. Una colaboración público-privada es importante para compartir el riesgo de este tipo de proyecto, de esta forma la colaboración mutua con el sector público no solamente facilita los trámites legales requeridos sino también permite elaborar nuevos modelos de negocios y organización, aún inexistentes en Chile pero que funcionan exitosamente en otros países.
- **Generar nuevas fuentes de ingreso para actores locales:** En Europa, el uso energético de biomasa en zonas rurales es un importante motor para el desarrollo local y regional pues conlleva además a generar fuentes de empleo e ingresos adicionales. La planta de biomasa y la calefacción distrital puede generar en Coyhaique un mercado para los residuos forestales, generar nuevas fuentes de ingresos y un empleo adicional en el sector forestal y en la operación de plantas de biomasa.
- **Generación de un sistema energético descentralizado y autosustentable:** El uso de los recursos naturales de la zona para producir energía térmica contribuye en Coyhaique a ser menos dependiente de la importación de combustibles fósiles. A largo plazo, la estabilidad de precios en la energía térmica a base de biomasa es un argumento importante para no depender del petróleo extranjero. El precio de la madera no está sujeto a las mismas fluctuaciones del precio del petróleo.

12.2 Recomendaciones

La implementación de una calefacción distrital a base de biomasa en Coyhaique puede disminuir 99% la acumulación de PM10 y PM2.5 y puede contribuir a la descontaminación del aire. Otras ventajas son la alta motivación e interés de los actores forestales de la zona y del sector energético de ser parte de la calefacción distrital. Para garantizar la viabilidad de este proyecto, los requerimientos al respecto del aislamiento de las viviendas tienen que ser mejorados. Recomendamos comenzar el proyecto con las 230 viviendas del servicio militar. Esto sólo es posible si hay una decisión fundamental de este actor. El gobierno chileno tiene que subsidiar el proyecto para mejorar la rentabilidad del proyecto. Es importante que los actores involucrados tomen una decisión clara y firmen una declaración de intención de trabajar participando en los próximos pasos.

13 Referencias

- Anuario climatológico, Dirección Meteorológica de Chile, 2012.
- Agrupación de Ingenieros Forestal por el Bosque Nativo (AIFBN); 2009: Tipología de Comerciantes de Leña.
- Catastro Nacional de Recursos Forestales e imágenes satelitales; 2012.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT); 2010: Estudio de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial.
- Comisión Nacional de Energía, CNE; 2006: Política energética. Nuevos lineamientos.
- CONAF; 2012. Superficie forestada y reforestada, por tipo de propietario y año.
- Consejo de Producción Limpia (CPL); 2010: Diagnóstico y Propuesta APL Leña.
- Gomez-Lobos, A; Lima, J; Hill, C; Meneses, M.; 2006: Diagnóstico del Mercado de la Leña en Chile. Centro Microdatos. Departamento de Economía. Universidad de Chile.
- Gomez-Lobos, A.; 2005: El consumo de la leña al Sur de Chile. Revista Ambiente y Desarrollo 21(3): 43-47.
- <http://sinca.mma.gob.cl>
- INFOR; 2012: Consumo de madera en troza por región según industria.
- INFOR; 2012: Bosques naturales por región.
- INFOR, 2011: Diagnóstico Regional y Propuestas de Desarrollo que permitan recuperar suelos a través de la forestación y desarrollo de la Silvicultura. Subsector Bosque Nativo. 23 p.
- INFOR; 2011: Producción Maderera Aserrada por Región.
- INFOR; 2009: Inventario bosques plantados por especie según región.
- INFOR; 2006: Disponibilidad de residuos madereros para uso energéticos en Aysen.
- INFOR; 2006: Estimación de biomasa maderable disponible para bioenergía alrededor de Coyhaique.
- Jahnke, E.; 2009: Evaluación Económica de Alternativas de Calefacción.
- Saez, N.; 2009: Distribución y caracterización de lugares boscosos proveedores.
- SIA 380/1; 2007: Bauwesen. Thermische Energie im Hochbau.
- Tiempo y Espacio; 2009: Leña nativa destinada a la ciudad de Coyhaique. Año 20 Vol., 23 / 2009, Pág. 7- 24.
- Urrejola, C.; 2004: Análisis Técnico, Económico y Ambiental de la Sustitución de Leña por Gas Natural en Coyhaique. Memoria Universidad de Chile, Facultad Ciencias Físicas y Matemáticas.

Anexo 1: Cálculo de la demanda de combustible y de energía térmica

Tipo vivienda 1: Valor óptimo - 120 kWh/m2a (1/3)

Objeto			
Numeración		Vivienda normal	
Dirección		Coyhaique, Chile	
Características de las viviendas			
Tipo de casa		Casa individual	
Forma del techo		Techo inclinado	
Pisos		De un piso (Sólo planta baja)	
Calidad del techo		Techo ligero	
Calidad exterior de los muros		Muros externos sólidos	
Calidad de las ventanas		Aislamiento de vidrio (2-IV-IR)	
Superficie del área energética de referencia		66 m ²	
Superficie bruta		58 m ²	(66 - ca. 12%)
Altura del techo		2,7 m	(2.3+0.2+0.2=2.7)
Volumen		133 m ³	
Transmitancia térmica total (U)		120 kWh/m2a	
Sistema de calefacción		Calefacción distrital	
Factores climáticos			
Temperatura exterior más baja (durante más de 3 días)			-8 °C
Temperatura del suelo bajo de la vivienda			3 °C
Temperatura media del aire en la vivienda en uso (theta i)			20 °C
Temperatura media del aire en la vivienda sin uso (theta i)			14 °C
Temperatura media del aire en la vivienda (theta i)			17 °C
Días de calefacción			3966 Kd
Días de calefacción total (HGT)[1])			310 Tage
Construcción - Aislamiento			
Muro exterior		15 cm Polystyrol EPS, Lambda = 0.035 [W/mK]	
Ventana		Uw < 1.2; Ug < 0.7; g-Wert 0.55	
Techo		15 cm Polystyrol EPS, Lambda = 0.035 [W/mK]	
Piso adyacente a tierra		8 cm vidrio Lambda = 0.040 [W/mK]	
Superficie de Demanda energética			
Muro exterior			80 m ²
Ventana			10 m ²
Techo			66 m ²
Piso adyacente a tierra			66 m ²
<i>Gebäudehüllzahl = Ath / Energiebezugsfläche</i>			2,9
Transmitancia energética			
Muro exterior			0,22 W/m2K
Ventana			1,5 W/m2K
Techo			0,22 W/m2K
Piso adyacente a tierra			0,4 W/m2K

Tipo vivienda 1: Valor óptimo - 120 kWh/m2a (2/3)

1 Demanda de energía térmica

$$Q_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_a)$$

Muro exterior	440 W
Ventana	375 W
Techo	363 W
Piso adyacente a tierra	370 W
Subtotal	1.548 W
Puentes de energía térmica	186 W
Total	1.733 W

2 Ventilación

$$Q_v = 0.34 \times n \times A \times (\theta_i - \theta_a)$$

Densidad x Capacidad energética, específica	0,34 Wh/m3K
Corriente de infiltración n	0,7 m3/(hm2)
Pérdida de ventilación	345 W

3 Demanda energética de la vivienda

Transmisión-Demanda energética	1.733 W
Pérdida de ventilación de energía térmica	345 W
Total Transmisión y ventilación	2.078 W
Potencia específica	31 W/m2

4 Agua caliente

Generación de energía térmica 10 W/m2	660 W
---------------------------------------	--------------

5 Total Demanda de energía térmica

Demanda energética	2.078 W
Calentar agua caliente	660 W
Demanda de energía térmica	2.738 W

Demanda de energía de la vivienda

1 Demanda energética (calefacción, incl. ventilación)

$$\text{Demanda de combustible} = \text{Horas en pleno funcionamiento} \times Q_{tn} \times 0.85 \times \text{HGT} / ((\theta_i - \theta_a) \times \text{Hu})$$

Horas en pleno funcionamiento	15 h/d
Q_{tn} = Demanda energética, transmisión y ventilación	2.078 W
Hu = Poder calorífico inferior del combustible	700 kWh/Sm3
η = Coeficiente de rendimiento de la generación térmica	0,85
Demanda de combustible calefacción, incl. ventilación	8,3 Sm3/a

2 Demanda energética ventilación

Ventilación natural

$$Q_v = 0.34 \times n \times VR \times \text{HGT} \times 24$$

Densidad x Capacidad energética, específica	0,34 Wh/m3K
Corriente de infiltración n	0,7 m3/(hm2)
Demanda energética ventilación	1.314 kWh/a
Demanda de combustible de la ventilación	1,9 Sm3/a

Tipo vivienda 1: Valor óptimo - 120 kWh/m2a (3/3)

3 Demanda de energía térmica (Agua caliente)

Demanda de combustible = $365 \times \text{kg/Tag} \times \text{delta t} \times \text{Pers.} \times \text{cp}/(\text{Hu} \times \text{eta})$

Número de personas (24m2/persona)	2,8	
Consumo de agua caliente per persona	40	Liter bzw. kg
Temperatura agua fría	10	°C
Temperatura agua caliente	50	°C
Densidad x Capacidad energética de agua, específica	0,00116	kWh/kgK
eta = Coeficiente de rendimiento de la generación térmica	0,85	

Demanda de combustible agua caliente 3,1 Sm3/a

4 Total Demanda de combustible viviendas

Demanda de combustible calefacción	6,4	Sm3/a
Demanda de combustible de la ventilación	1,9	Sm3/a
Demanda de combustible agua caliente	3,1	Sm3/a

Total 11,5 Sm3/a

Demanda de energía térmica viviendas

Demanda de energía térmica calefacción	4.505	kWh/a
Demanda de energía térmica agua caliente	1.314	kWh/a
Demanda de energía térmica ventilación	2.197	kWh/a

Total 8.016 kWh/a

Demanda de energía térmica viviendas específica

Demanda de energía térmica calefacción	68	kWh/m2a
Demanda de energía térmica agua caliente	20	kWh/m2a
Demanda de energía térmica ventilación	33	kWh/m2a

Total 121 kWh/m2a (Ziel: 120)

Demanda de energía térmica Planta de biomasa

Demanda de energía térmica Planta de biomasa, por vivienda

Tasa de utilización anual calefacción distrital (excl. Generación)	0,90	
Demanda de combustible en la planta de biomasa por vivienda	12,7	Sm3/a
Demanda energética para la planta de biomasa	8.907	kWh/a

Demanda de energía térmica Planta de biomasa

Número de viviendas	230	
Total Superficie Demanda energética	15.180	m2

Demanda de combustible Planta de biomasa

2.927 Sm3/a

Demanda energética de la planta de biomasa 2.049 MWh/a

Horas en pleno funcionamiento (incl. para calentar agua caliente) 2400 h/a

Potencia de la caldera 854 kW

Tipo vivienda 2: Vivienda Nueva Reglementación térmica v/s EE (NCh 1079 Of. 2008) (1/3)

Objeto			
Numeración		Vivienda normal	
Dirección		Coyhaique, Chile	
Características de las viviendas			
Tipo de casa		Vivienda individual	
Forma del techo		Techo inclinado	
Pisos		De un piso (sólo planta baja)	
Calidad del techo		Techo ligero	
Calidad exterior de los muros		Muros externos sólidos	
Calidad de las ventanas		Aislamiento de vidrio doble, sin aislamiento térmico, marco sin aislamiento	
Superficie del área energética de referenc		66 m ²	
Superficie bruta		58 m ²	(66 - ca. 12%)
Altura del techo		2,7 m	(2.3+0.2+0.2=2.7)
Volumen		133 m ³	
Transmitancia térmica total (U)		184 kWh/m ² a	
Sistema de calefacción		Calefacción distrital	
Factores climáticos			
Temperatura exterior más baja (durante más de 3 días)			-8 °C
Temperatura del suelo bajo de la vivienda			3 °C
Temperatura media del aire en la vivienda en uso (theta i)			20 °C
Temperatura media del aire en la vivienda sin uso (theta i)			14 °C
Temperatura media del aire en la vivienda (theta i)			17 °C
Días de calefacción			3966 Kd
Días de calefacción total (HGT)[1])			310 Tage
Superficie de Demanda energética			
Muro exterior			80 m ²
Ventana			10 m ²
Techo			66 m ²
Piso adyacente a tierra			66 m ²
<i>Gebäudehüllzahl = Ath / Energiebezugsfläche</i>			2,9
Transmitancia energética			
Muro exterior			0,3 W/m ² K
Ventana			3,5 W/m ² K
Techo			0,25 W/m ² K
Piso adyacente a tierra			0,4 W/m ² K

Tipo vivienda 2: Vivienda Nueva Reglementación térmica v/s EE (NCh 1079 Of. 2008) (2/3)

1 Demanda de energía térmica		
Qt = U x A x (theta i - theta a)		
Muro exterior		600 W
Ventana		875 W
Techo		413 W
Piso adyacente a tierra		370 W
Subtotal		2.257 W
Puentes de energía térmica		271 W
Total		2.528 W
2 Ventilación		
Qv= 0.34 x n x A x (theta i - theta a)		
Densidad x Capacidad energética, específica		0,34 Wh/m3K
Corriente de infiltración n		2,1 m3/(hm2)
Pérdida de ventilación		1.035 W
3 Demanda energética de la vivienda		
Transmisión-Demanda energética		2.528 W
Pérdida de ventilación de energía térmica		1.035 W
Total Transmisión y ventilación		3.563 W
Potencia específica		54 W/m2
4 Agua caliente		
Generación de energía térmica 10 W/m2		660 W
5 Total Demanda de energía térmica		
Demanda energética		3.563 W
Calentar agua caliente		660 W
Demanda de energía térmica		4.223 W
Demanda de energía de la vivienda		
1 Demanda energética (calefacción, incl. ventilación)		
Demanda de combustible = Horas en pleno funcionamiento x Qtn x 0.85 x HGT/((theta i - theta a) x Hu x eta)		
Horas en pleno funcionamiento		15 h/d
Qtn = Demanda energética, transmisión y ventilación		3.563 W
Hu = Poder calorífico inferior del combustible		700 kWh/Sm3
eta = Coeficiente de rendimiento de la generación térmica		0,85
Demanda de combustible calefacción, incl. ventilación		14,3 Sm3/a
2 Demanda energética ventilación		
Ventilación natural		
Qv= 0.34 x n x VR x HGT x 24		
Densidad x Capacidad energética, específica		0,34 Wh/m3K
Corriente de infiltración n		2,1 m3/(hm2)
Demanda energética ventilación		3.942 kWh/a
Demanda de combustible de la ventilación		5,6 Sm3/a

Tipo vivienda 2: Vivienda Nueva Reglementación térmica v/s EE (NCh 1079 Of. 2008) (3/3)

3 Demanda de energía térmica (Agua caliente)		
Demanda de combustible = $365 \times \text{kg/Tag} \times \text{delta } t \times \text{Pers.} \times \text{cp}/(\text{Hu} \times \text{eta})$		
Número de personas (24m2/persona)		2,8
Consumo de agua caliente per persona		40 Liter bzw. kg
Temperatura agua fría		10 °C
Temperatura agua caliente		50 °C
Densidad x Capacidad energética de agua, específica		0,00116 kWh/kgK
eta = Coeficiente de rendimiento de la generación térmica		0,85
Demanda de combustible agua caliente		3,1 Sm3/a
4 Total Demanda de combustible viviendas		
Demanda de combustible calefacción		8,6 Sm3/a
Demanda de combustible de la ventilación		5,6 Sm3/a
Demanda de combustible agua caliente		3,1 Sm3/a
Total		17,4 Sm3/a
Demanda de energía térmica viviendas		
Demanda de energía térmica calefacción		6.034 kWh/a
Demanda de energía térmica agua caliente		3.942 kWh/a
Demanda de energía térmica ventilación		2.197 kWh/a
Total		12.173 kWh/a
Demanda de energía térmica viviendas específica		
Demanda de energía térmica calefacción		91 kWh/m2a
Demanda de energía térmica agua caliente		60 kWh/m2a
Demanda de energía térmica ventilación		33 kWh/m2a
Total		184 kWh/m2a
Demanda de energía térmica Planta de biomasa		
Demanda de energía térmica Planta de biomasa, por vivienda		
Tasa de utilización anual calefacción distrital (excl. Generación)		0,90
Demanda de combustible en la planta de biomasa por vivienda		19,3 Sm3/a
Demanda energética para la planta de biomasa		13.525 kWh/a
Demanda de energía térmica Planta de biomasa		
Número de viviendas		230
Total Superficie Demanda energética		15.180 m2
Demanda de combustible Planta de biomasa		
Demanda energética de la planta de biomasa		4.444 Sm3/a
		3.111 MWh/a
Horas en pleno funcionamiento (incl. para calentar el agua caliente)		2400 h/a
Potencia de la caldera		1.296 kW

Tipo vivienda 3: Baseline viviendas sociales Alejandro Cornejo (1/3)

Objeto			
Numeración		Vivienda normal	
Dirección		Coyhaique, Chile	
Características de las viviendas			
Tipo de casa		Vivienda social	
Forma del techo		Techo inclinado	
Pisos		De un piso (sólo planta baja)	
Calidad del techo		Techo ligero	
Calidad exterior de los muros		Muros externos sólidos	
Calidad de las ventanas		Aislamiento de vidrio simple, sin aislamiento térmico, marco sin aisl.	
Superficie del área energética de referencia		66 m ²	
Superficie bruta		58 m ²	(66 - ca. 12%)
Altura del techo		2,7 m	(2.3+0.2+0.2=2.7)
Volumen		133 m ³	
Sistema de calefacción		Calefacción individual	
Factores climáticos			
Temperatura exterior más baja (durante más de 3 días)		-8 °C	
Temperatura del suelo bajo de la vivienda		3 °C	
Temperatura media del aire en la vivienda en uso (theta i)		20 °C	
Temperatura media del aire en la vivienda sin uso (theta i)		14 °C	
Temperatura media del aire en la vivienda (theta i)		17 °C	
Días de calefacción		3966 Kd	
Días de calefacción total (HGT)[1])		310 Tage	
Superficie de Demanda energética			
Muro exterior		80 m ²	
Ventana		10 m ²	
Techo		66 m ²	
Piso adyacente a tierra		66 m ²	
<i>Gebäudehüllzahl = Ath / Energiebezugsfläche</i>		2,9	
Transmitancia energética			
Muro exterior		0,6 W/m ² K	
Ventana		5,2 W/m ² K	
Techo		0,4 W/m ² K	
Piso adyacente a tierra		0,6 W/m ² K	

Tipo vivienda 3: Baseline viviendas sociales Alejandro Cornejo (2/3)

1 Demanda de energía térmica

$$Q_t = U \times A \times (\theta_i - \theta_a)$$

Muro exterior	1.200 W
Ventana	1.300 W
Techo	660 W
Piso adyacente a tierra	554 W
Subtotal	3.714 W
Puentes de energía térmica	446 W
Total	4.160 W

2 Ventilación

$$Q_v = 0.34 \times n \times A \times (\theta_i - \theta_a)$$

Densidad x Capacidad energética, específica	0,34 Wh/m ³ K
Corriente de infiltración n	4,2 m ³ /(hm ²)
Pérdida de ventilación	2.071 W

3 Demanda energética de la vivienda

Transmisión-Demanda energética	4.160 W
Pérdida de ventilación de energía térmica	2.071 W
Total Transmisión y ventilación	6.231 W
Potencia específica	94 W/m ²

4 Agua caliente

Generación de energía térmica 10 W/m ²	660 W
---	--------------

5 Total Demanda de energía térmica

Demanda energética	6.231 W
Calentar agua caliente	660 W
Demanda de energética térmica	6.891 W

Demanda de energía de la vivienda

1 Demanda energética (calefacción, incl. ventilación)

$$\text{Demanda de combustible} = \text{Horas en pleno funcionamiento} \times Q_{tn} \times 0.85 \times \text{HGT} / ((\theta_i - \theta_a) \times H_u \times \eta)$$

Horas en pleno funcionamiento	15 h/d
Q_{tn} = Demanda energética, transmisión y ventilación	6.231 W
H_u = Poder calorífico inferior del combustible	700 kWh/Sm ³
η = Coeficiente de rendimiento de la generación térmica	0,85
Demanda de combustible calefacción, incl. ventilación	24,9 Sm³/a

2 Demanda energética ventilación

Ventilación natural

$$Q_v = 0.34 \times n \times VR \times \text{HGT} \times 24$$

Densidad x Capacidad energética, específica	0,34 Wh/m ³ K
Corriente de infiltración n	4,2 m ³ /(hm ²)
Demanda energética, ventilación	7.884 kWh/a
Demanda de combustible de la ventilación	11,3 Sm³/a

Tipo vivienda 3: Baseline viviendas sociales Alejandro Cornejo (3/3)

3 Demanda de energía térmica (Agua caliente)

Demanda de combustible = $365 \times \text{kg/Tag} \times \text{delta t} \times \text{Pers.} \times \text{cp}/(\text{Hu} \times \text{eta})$

Número de personas (24m ² /persona)	2,8
Consumo de agua caliente por persona	40 Liter bzw. kg
Temperatura agua fría	10 °C
Temperatura agua caliente	50 °C
Densidad x Capacidad energética de agua, específica	0,00116 kWh/kgK
eta = Coeficiente de rendimiento de la generación térmica	0,85
Demanda de combustible agua caliente	3,1 Sm³/a

4 Total Demanda de combustible viviendas

Demanda de combustible calefacción	13,7 Sm ³ /a
Demanda de combustible de la ventilación	11,3 Sm ³ /a
Demanda de combustible agua caliente	3,1 Sm ³ /a
Total	28,1 Sm³/a

Demanda de energía térmica viviendas

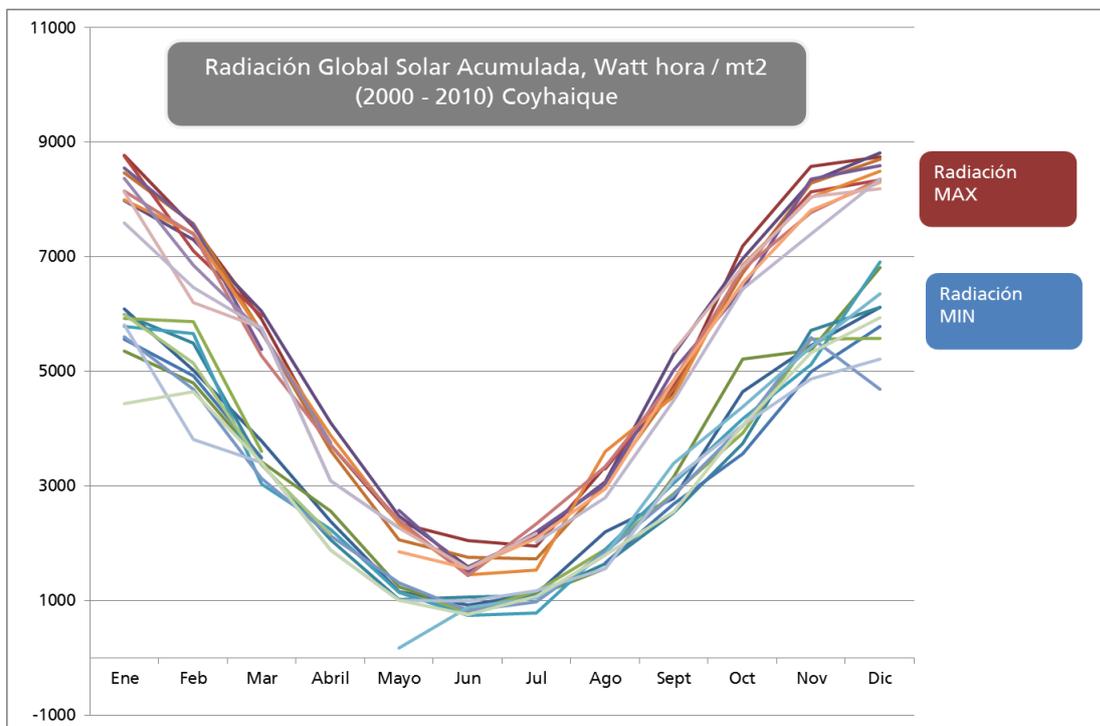
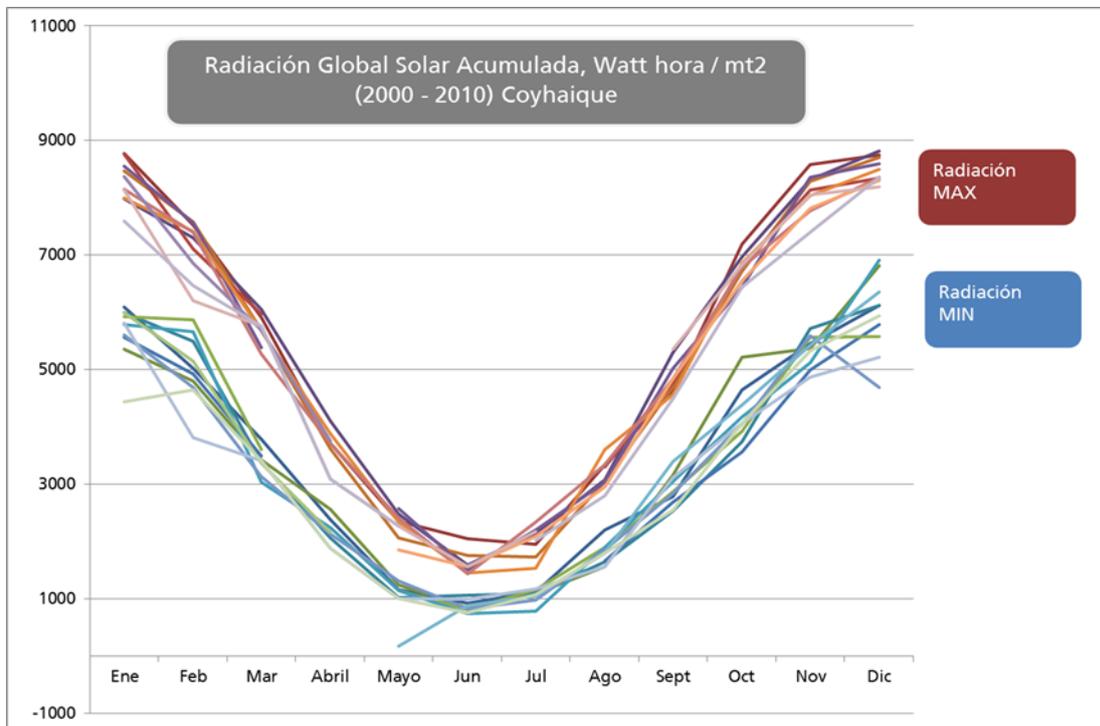
Demanda de energía térmica calefacción	9.560 kWh/a
Demanda de energía térmica agua caliente	7.884 kWh/a
Demanda de energía térmica ventilación	2.197 kWh/a
Total	19.641 kWh/a

Demanda de energía térmica viviendas, específica

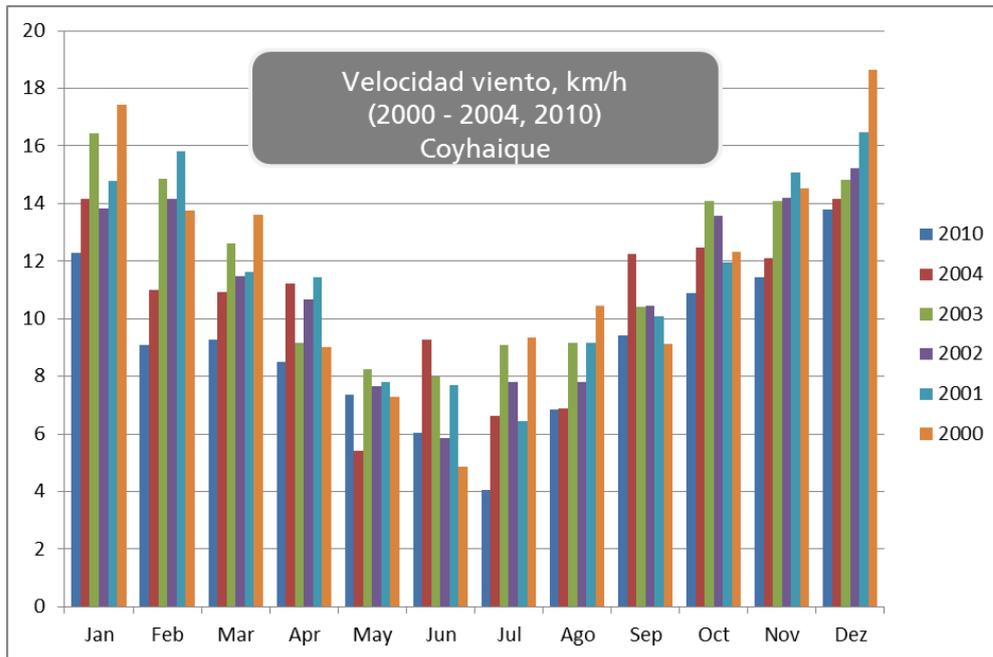
Demanda de energía térmica calefacción	145 kWh/m ² a
Demanda de energía térmica agua caliente	119 kWh/m ² a
Demanda de energía térmica ventilación	33 kWh/m ² a
Total	298 kWh/m²a

Anexo 2: Factores climáticos

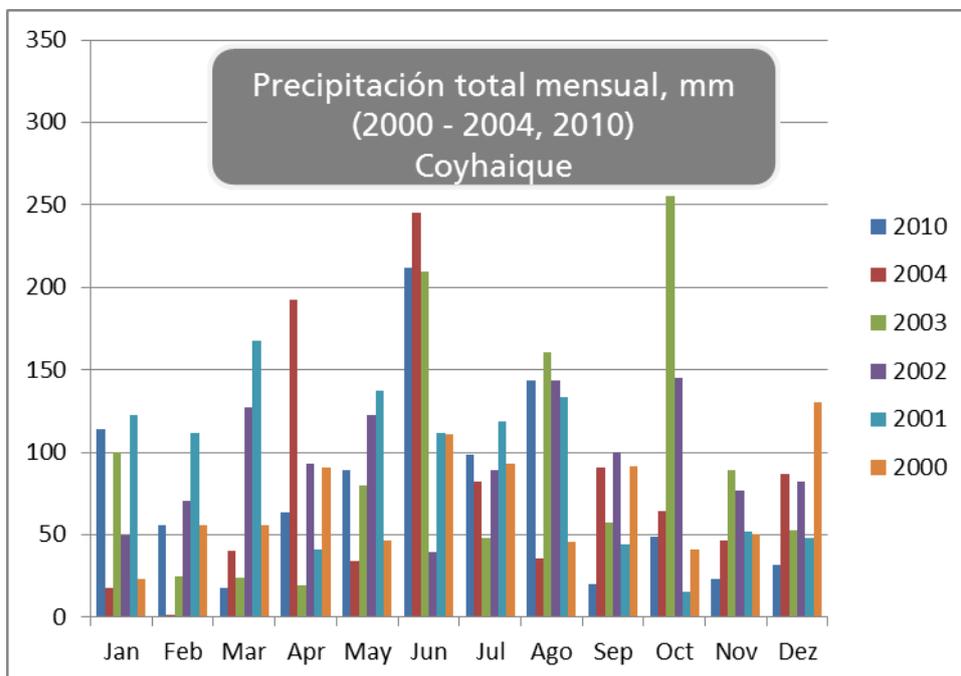
Radiación Global Solar Acumulada (2000 – 2010)



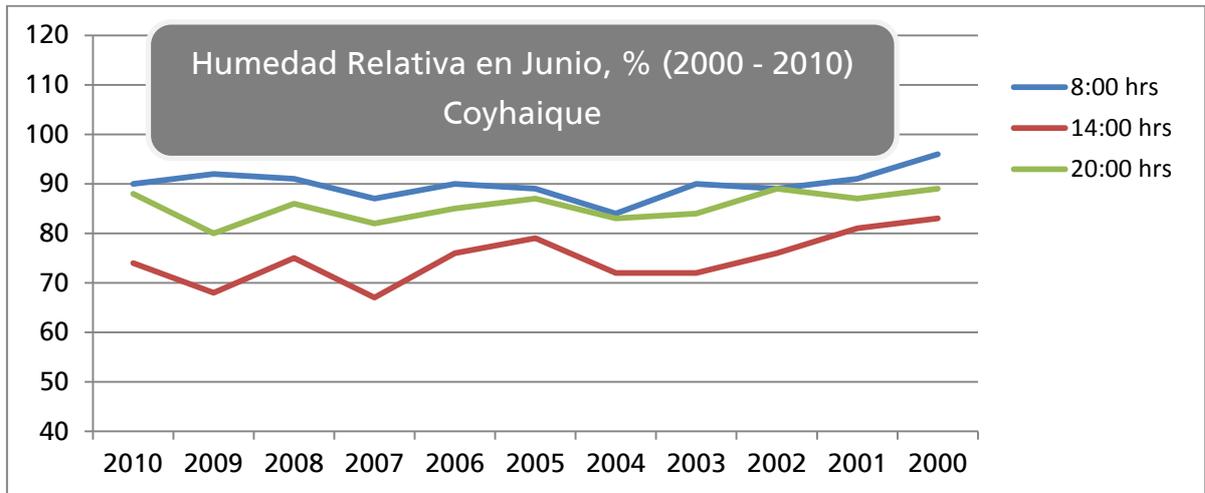
Velocidad del viento en Coyhaique (2000 – 2010)



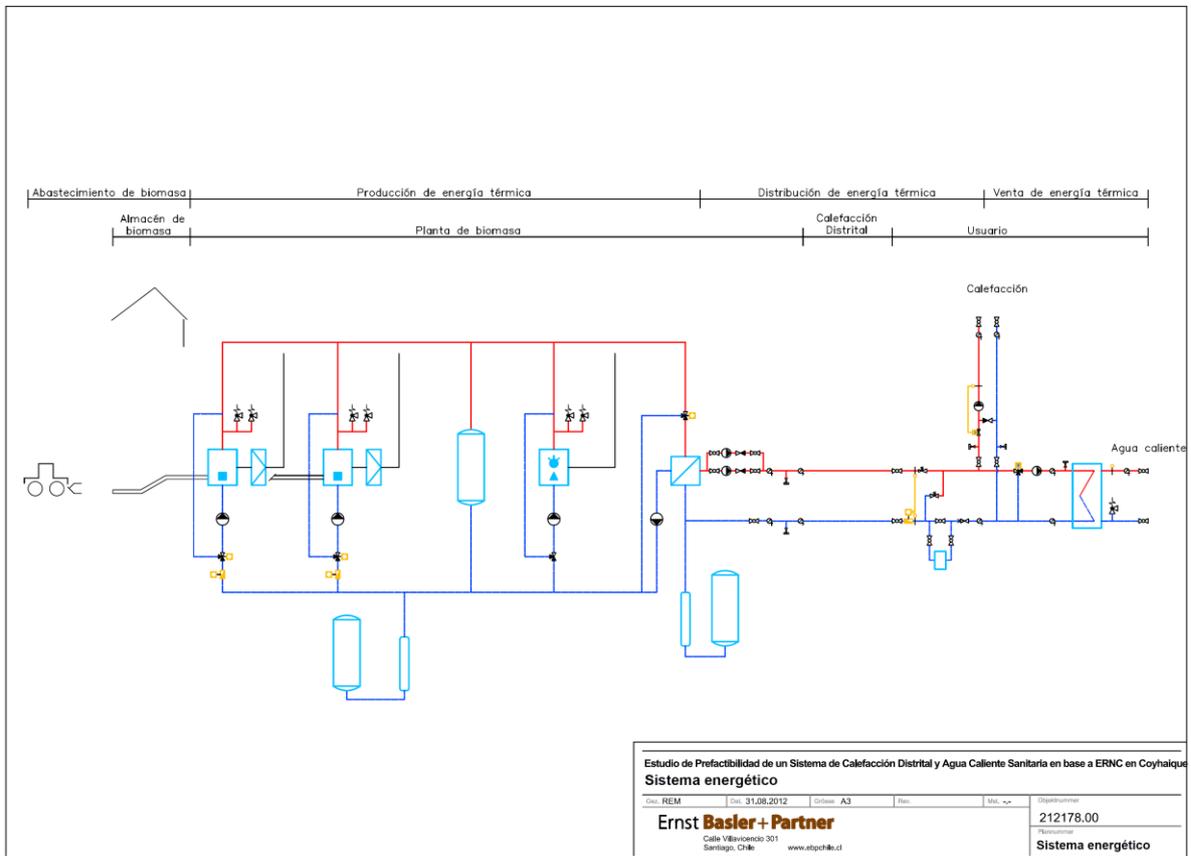
Precipitación total mensual, Coyhaique, mm (2000-2004, 2010)



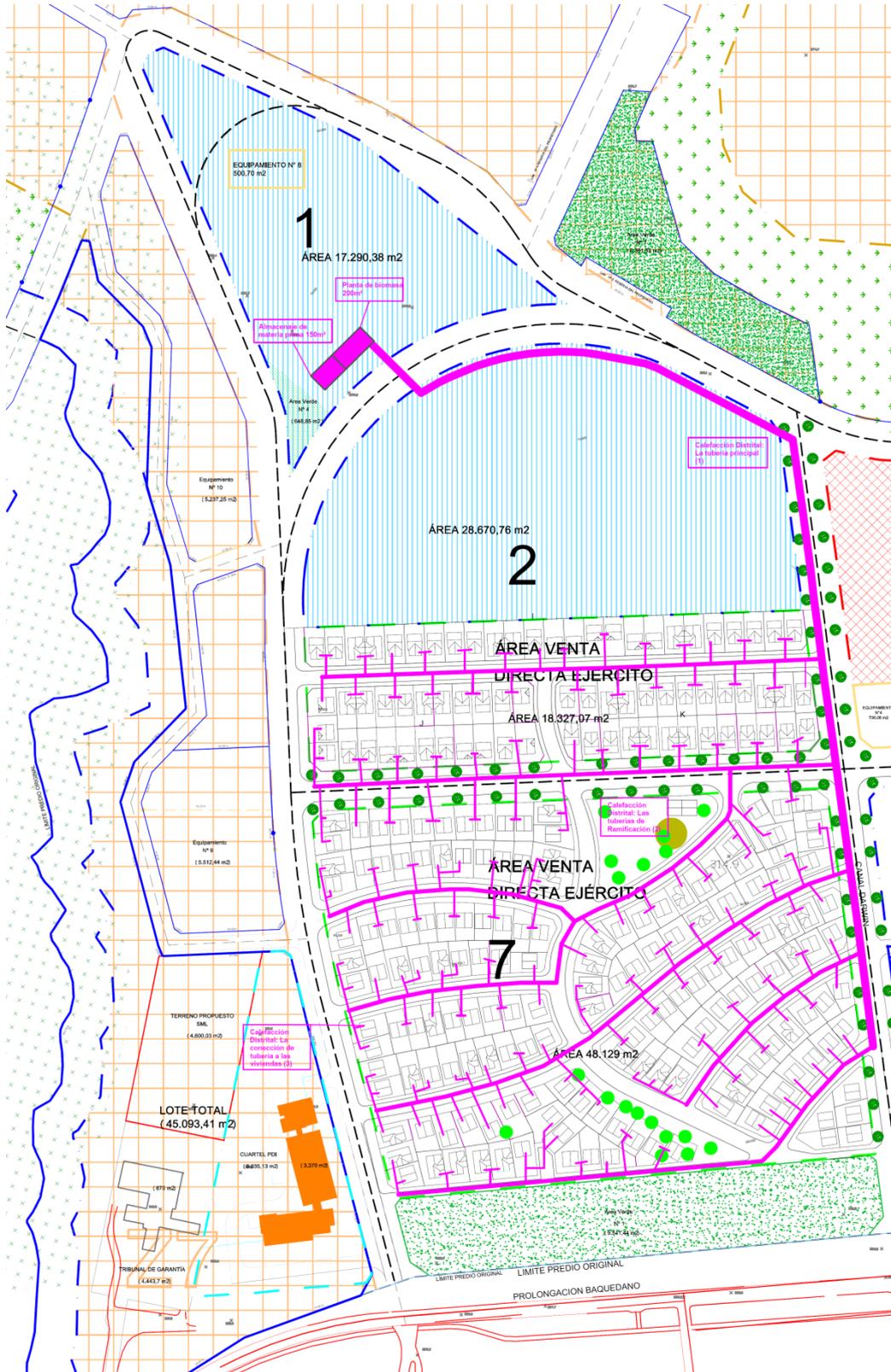
Humedad relativa en Junio, Coyhaique (2000-2010)



Anexo 3: Sistema energético



Anexo 3: Croquis planta de biomasa y calefacción distrital



Anexo 4: Cash – Flow sin subsidios

La opción 2 – 230 viviendas

CASH FLOW 230 VIVIENDAS																			
Datos generales			Finanzas						Resultados										
Costo de combustible: Astillas y eliminación de ceniza	20	USD/Sm3	Costo de inversión	3.857.400	USD	Promedio costos financieros	-												
Inflación	2,5%		Subsidio			Amortización en promedio anual	-245.736												
Impuestos sobre beneficios	20%		Inversión real	3.857.400	USD	Valor residual calefacción distrital	171.360												
Número de viviendas	230 *		Capital propio	100%	3.857.400	USD	Beneficio	-2.857.066											
Precio de venta de energía	13	cts/kWh	Crédito	0%	-	USD	TIR	-5,17%											
Subsidios del estado		cts/kWh	Tasa de interés del crédito		6%		TIR												
Demanda de energía térmica viviendas	12.173	kWh/a	Largo del crédito		10 años*		Con ingresos de 13 cts del cliente y del estado	4,59%											
			Planificación		1 años		Con un subsidio de 65% de la inversión	5,66%											
			Construcción: Calefacción distrital		25 años		Con un interés de 2% y 10cts/kWh	1,97%											
			Técnica: Planta de biomasa, almacén		15 años														
			Horizonte del modelo		15 años*														
*: El cambio de estos datos necesita una adaptación del modelo																			
Año	(somos)	(control)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
todo en USD, incl. inflación																			
Inversiones																			
Planificación del proyecto	- 3.857.400	-	-500.000																
Construcción				- 428.400															
Técnica				- 2.929.000															
Ingresos																			
Pago anual por vivienda					1.582	1.622	1.663	1.704	1.747	1.790	1.835	1.881	1.928	1.976	2.026	2.076	2.128	2.181	2.236
Subsidios del estado del precio de energía					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ingresos anuales	6.526.689				363.970	373.070	382.396	391.956	401.755	411.799	422.094	432.646	443.462	454.549	465.913	477.561	489.500	501.737	514.281
Gastos																			
Costos de operación	- 2.724.077				- 151.912	- 155.710	- 159.603	- 163.593	- 167.683	- 171.875	- 176.171	- 180.576	- 185.090	- 189.717	- 194.460	- 199.322	- 204.305	- 209.413	- 214.648
Costo fijo de operación	- 1.130.258				- 63.030	- 64.606	- 66.221	- 67.877	- 69.574	- 71.313	- 73.096	- 74.923	- 76.797	- 78.716	- 80.684	- 82.701	- 84.769	- 86.888	- 89.060
Costo variable de operación	- 1.593.819				- 88.882	- 91.104	- 93.381	- 95.716	- 98.109	- 100.561	- 103.075	- 105.652	- 108.294	- 111.001	- 113.776	- 116.620	- 119.536	- 122.524	- 125.587
Costos financieros	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Devolución del crédito	-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pago de interés	-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos sin amortización	- 2.724.077				- 151.912	- 155.710	- 159.603	- 163.593	- 167.683	- 171.875	- 176.171	- 180.576	- 185.090	- 189.717	- 194.460	- 199.322	- 204.305	- 209.413	- 214.648
Amortización																			
Planificación	- 500.000	-			- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403	- 712.403
Calefacción distrital	- 257.040	-			- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136	- 17.136
Técnica	- 2.929.000	-			-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267	-195.267
Gastos incl. amortización					- 864.315	- 580.515	- 584.408	- 588.398	- 592.488	- 596.680	- 600.977	- 605.381	- 609.896	- 614.523	- 619.266	- 624.127	- 629.110	- 634.218	- 639.453
Beneficios																			
Beneficios antes de los impuestos	- 2.857.066				- 500.344	- 207.446	- 202.012	- 196.442	- 190.733	- 184.881	- 178.883	- 172.735	- 166.433	- 159.974	- 153.353	- 146.567	- 139.611	- 132.481	- 125.173
Impuestos sobre beneficios	-				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beneficios después impuestos (TIR)	- 2.857.066				- 500.344	- 207.446	- 202.012	- 196.442	- 190.733	- 184.881	- 178.883	- 172.735	- 166.433	- 159.974	- 153.353	- 146.567	- 139.611	- 132.481	- 125.173
Valor de la inversión restante	- 3.144.997				- 2.932.595	- 2.720.192	- 2.507.789	- 2.295.387	- 2.082.984	- 1.870.581	- 1.658.179	- 1.445.776	- 1.233.373	- 1.020.971	- 808.568	- 596.165	- 383.763	- 171.360	
Valor del crédito restante					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

La opción 4 – 630 viviendas

CASH FLOW 630 VIVIENDAS																			
Datos generales		Finanzas						Resultados											
Costo de combustible: Astillas y eliminación de cenizas	20	USD/Sm3	Costo de inversión	10.198.000	USD	Promedio costos financieros	-												
Inflación	2,5%		Subsidio			Amortización en promedio anual	-645.680												
Impuestos sobre beneficios	20%		Inversión real	10.198.000	USD	Valor residual calefacción distrital	512.800												
Número de viviendas	630 *		Capital propio	100%	10.198.000	USD	Beneficio	- 7.057.297											
Precio de venta de energía	13	cts/kWh	Crédito	0%	-	USD	TIR	-4,86%											
Subsidios del estado			Tasa de interés del crédito		6%		TIR												
Demanda de energía térmica viviendas	12.173	kWh/a	Largo del crédito		10	años*	Con ingresos de 13 cts del cliente y del estado	5,55%											
*: El cambio de estos datos necesita una adaptación del modelo			Planificación		1	años	Con un subsidio de 65% de la inversión	7,19%											
			Construcción: Calefacción distrital		25	años	Con un interés de 2% y 10cts/kWh	2,37%											
			Técnica: Planta de biomasa, almacén		15	años													
			Horizonte del modelo		15	años*													
Año	(somos)	(control)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
todo en USD, incl. inflación																			
Inversiones																			
Planificación del proyecto	- 10.198.000	-	-940.000																
Construcción				- 1.282.000															
Técnica				- 7.976.000															
Ingresos																			
Pago anual por vivienda				1.582	1.622	1.663	1.704	1.747	1.790	1.835	1.881	1.928	1.976	2.026	2.076	2.128	2.181	2.236	
Subsidios del estado del precio de energía				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ingresos anuales	17.877.452			996.962	1.021.886	1.047.433	1.073.619	1.100.460	1.127.971	1.156.170	1.185.075	1.214.702	1.245.069	1.276.196	1.308.101	1.340.803	1.374.323	1.408.681	
Gastos																			
Costos de operación	- 7.087.362			- 395.237	- 405.118	- 415.246	- 425.627	- 436.268	- 447.174	- 458.354	- 469.813	- 481.558	- 493.597	- 505.937	- 518.585	- 531.550	- 544.839	- 558.460	
Costo fijo de operación	- 2.721.684			- 151.779	- 155.573	- 159.462	- 163.449	- 167.535	- 171.724	- 176.017	- 180.417	- 184.928	- 189.551	- 194.290	- 199.147	- 204.125	- 209.229	- 214.459	
Costo variable de operación	- 4.365.678			- 243.458	- 249.545	- 255.783	- 262.178	- 268.733	- 275.451	- 282.337	- 289.396	- 296.630	- 304.046	- 311.647	- 319.439	- 327.424	- 335.610	- 344.000	
Costos financieros	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Devolución del crédito	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pago de interés	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Gastos sin amortización	- 7.087.362			- 395.237	- 405.118	- 415.246	- 425.627	- 436.268	- 447.174	- 458.354	- 469.813	- 481.558	- 493.597	- 505.937	- 518.585	- 531.550	- 544.839	- 558.460	
Amortización																			
Planificación	- 940.000	-		-1.523.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013	- 583.013
Calefacción distrital	- 769.200	-		- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280	- 51.280
Técnica	- 7.976.000	-		-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733	-531.733
Gastos incl. amortización	- 8.812.562			- 1.918.250	- 1.571.145	- 1.581.273	- 1.591.654	- 1.602.294	- 1.613.201	- 1.624.380	- 1.635.839	- 1.647.585	- 1.659.624	- 1.671.964	- 1.684.612	- 1.697.577	- 1.710.865	- 1.724.486	
Beneficios																			
Beneficios antes de los impuestos	- 7.057.297			- 921.288	- 549.258	- 533.839	- 518.035	- 501.835	- 485.230	- 468.210	- 450.765	- 432.883	- 414.555	- 395.768	- 376.511	- 356.773	- 336.542	- 315.805	
Impuestos sobre beneficios	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Beneficios después impuestos (TIR)	- 7.057.297			- 921.288	- 549.258	- 533.839	- 518.035	- 501.835	- 485.230	- 468.210	- 450.765	- 432.883	- 414.555	- 395.768	- 376.511	- 356.773	- 336.542	- 315.805	
Valor de la inversión restante				-8.674.987	-8.091.973	-7.508.960	-6.925.947	-6.342.933	-5.759.920	-5.176.907	-4.593.893	-4.010.880	-3.427.867	-2.844.853	-2.261.840	-1.678.827	-1.095.813	-512.800	
Valor del crédito restante				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

