



LICITACIÓN ID: 611136-7-LE19

MINISTERIO DEL MEDIOAMBIENTE (MMA)

7 DE MAYO 2020

---

## Entregable 4: Informe





## **FUNDACIÓN ENERGÍA PARA TODOS (FEPT)**

Av. Libertador Bernardo O'Higgins

1302, of 70

Santiago de Chile

[contacto@energiaparatodos.cl](mailto:contacto@energiaparatodos.cl)

+56 9 6452 8926

## **PLANENERGI**

A.C. Meyers Vænge

15, 2450 Copenhagen

Dinamarca

[planenergi@planenergi.dk](mailto:planenergi@planenergi.dk)

T: +45 2224 2562

## **EQUIPO DE TRABAJO**

Cristian Cabrera Pérez

Javier Piedra Fierro

Christian Kok Skov

Nikola Botzov

Federico Brava

Claudio Cisternas Pendola

Walter Kross Mora

Cristobal Lamarca

## **CONTRAPARTE TÉCNICA**

Jimena Silva Huerta  
Nicolas Smith de la Carrera



## Contenido

Resumen ejecutivo.....	7
Introducción.....	11
Objetivos .....	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos .....	12
Actividad 1: Estimar las demandas de energía de edificaciones la ciudad de Cochrane.....	13
A) Reunión de ajuste metodológico.....	15
B) Línea base de información.....	16
Comentarios.....	17
Precio de combustible (leña) .....	17
Registro de calderas.....	18
Mapa de Actores.....	19
C) Mapa de calor .....	20
Metodología.....	20
D) Demanda térmica edificios - simulación dinámica.....	23
Estimación de la demanda de térmica y perfiles de demanda.....	23
Simulación dinámica de edificios.....	24
Generalidades .....	24
Edificio municipal.....	25
Jardín Infantil Mi Baker .....	32
Liceo Austral Lord Cochrane .....	39
Escuela Tte. Hernán Merino Correa.....	46
E) Costos de mantenimiento y operación de los sistemas de calefacción de edificios .....	56
Antecedentes .....	56
Definición y cálculo de CE .....	58
Comentarios.....	61



F) Demanda térmica de viviendas - CEV .....	62
Cálculo de transmitancias térmicas .....	62
Viviendas tipo.....	64
G) Costos de reacondicionar térmicamente viviendas .....	91
Demanda energética para viviendas estudiadas .....	91
Costos de inversión para el reacondicionamiento de los tipos de viviendas estudiadas.....	94
Comentarios.....	95
H) Costos de calefacción y ACS de las viviendas .....	96
Muestra.....	96
Resultados.....	96
Cálculo costo leña .....	97
Cálculo consumo leña anual .....	98
Cálculo costo anual consumo de leña Cochrane .....	99
Cálculo gasto mantención de equipo de calefacción anual.....	99
Cálculo de consumo en gas.....	100
Cálculo costo consumo de gas .....	101
Costo total uso de leña y gas para calefacción y ACS .....	102
Información uso de la leña.....	102
Percepción sobre el uso de la energía térmica en el hogar .....	103
Actividad 2: Analizar la prefactibilidad de la implementación del proyecto de calefacción distrital .....	106
I) Posicionamiento y dimensionamiento de la planta de calefacción distrital .....	107
Descripción de la tecnología y requisitos de área .....	108
Calderas de biomasa .....	108
Paneles solares térmicos.....	109
Bombas de calor.....	112
Combinaciones tecnológicas.....	114
Descripción de escenarios.....	115
Método de escenarios .....	122
Elección de tecnología .....	125



J) Oferta energética.....	127
Energía eléctrica.....	127
Combustibles .....	130
Bioenergía – Biogás.....	131
Energía por revalorización de RSU.....	134
K) Propuesta de red de distribución para sistema de calefacción distrital.....	135
Red de calefacción distrital.....	135
Red primaria de distribución.....	138
Red secundaria de distribución.....	144
L) Evaluación económica del sistema de calefacción distrital desde un punto de vista privado y público	
.....	151
Producción anual de energía térmica .....	151
Pre factibilidad privada-económico .....	153
Pre factibilidad pública-económica.....	159
M) Análisis y valorización de beneficios asociados al proyecto.....	165
Beneficios ambientales .....	165
Reducción de material particulado fino MP 2,5 .....	165
Beneficios sociales .....	166
Beneficios económicos.....	166
N) Modelos de negocio y marco regulatorio .....	167
Modelos de Negocios.....	167
Modelo 100% Público .....	168
Modelo Propietario.....	169
Modelo Joint Venture Público Privado .....	169
Modelo Cooperativa .....	169
Modelo Concesión .....	169
Modelo Contratación 100% privado.....	170
Resumen y Comentarios .....	170
Experiencia Internacional .....	173
Reino Unido.....	173



Islandia .....	174
Colombia .....	175
Regímenes legales y sus cuerpos normativos que permiten implementar proyectos de energía distrital .....	175
Sistema de concesiones del Ministerio de Obras Públicas .....	175
Sistema de financiamiento urbano compartido .....	176
Sistema de Concesión Municipal .....	176
Cuadro comparativo con las distintas características de los distintos regímenes legales .....	178
Propuestas Modelo de Negocios .....	180
Descripción de etapas de cadena de producción .....	180
Criterios para la selección de actores .....	181
Propuestas Modelos de Negocios.....	182
Conclusiones .....	184



## Resumen ejecutivo

Los objetivos específicos son: 1) Estimar las demandas de energía de edificaciones la ciudad de Cochrane, región de Aysén. 2) Analizar la prefactibilidad de la implementación de un proyecto de calefacción distrital que entregue calefacción y Agua Caliente Sanitaria (ACS). Adicionalmente este estudio busca valorizar los diversos beneficios del proyecto, tales como; mejoramiento de la eficiencia del sistema de calefacción actual, basado principalmente en combustión ineficiente y altamente contaminante de leña húmeda, reducción significativa de las emisiones de material particulado fino MP 2,5, entre otros.

Para esto fue necesario establecer una línea base en donde se estimaron las demandas térmicas de los 5 edificios públicos de mayor demanda y todas las viviendas del perímetro urbano de la ciudad, esto fue realizado en base a simulaciones dinámicas para el caso de los edificios y la herramienta de calificación energética de viviendas del MINVU (CEV). Además, este análisis fue complementado con un levantamiento en terreno, que contempló la realización de alrededor de 50 encuestas con el objetivo de capturar los costos asociados al consumo de leña y otros combustibles destinados a proveer calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). Finalmente se compara la línea base con distintos escenarios para la estudiar cual es la óptima combinación de tecnologías para el proyecto de calefacción distrital.

Los diferentes escenarios estudiados fueron los siguientes:

0. Línea de base: Refleja la demanda de térmica actual en Cochrane (28.830 MWh/anales).
- 0.1 Acondicionamiento térmico: Todos los edificios de la ciudad y viviendas se acondicionan térmicamente de acuerdo al estándar del PDA de Coyhaique, lo que reduce en un 60% la demanda térmica.
1. Escenario 1: Conexión de los cinco edificios {u a la red de calefacción distrital (14% de la demanda térmica de la ciudad).
2. Escenario 2: Como el escenario 1, más cuatro manzanas restantes con una densidad de calor muy alta (32% de la demanda térmica de la ciudad).
3. Escenario 3: Como el escenario 2, más todas las manzanas con alta densidad de calor, que son fáciles de conectar a la red (66% de la demanda térmica de la ciudad).
4. Escenario 4: Todas las manzanas, excepto las dos categorías de bloques con menor densidad de calor, por lo que este escenario cubre alrededor del 96% de la demanda total de calor.

En base a los resultados de este estudio se puede destacar:

- Pese al bajo estándar térmico de las viviendas y edificios de la ciudad, promediando una demanda térmica anual de 399 kWh/m<sup>2</sup> en viviendas y 294 kWh/m<sup>2</sup> en los edificios analizados, existe una tremenda oportunidad de reducir la demanda térmica, mediante la implementación de medidas de reacondicionamiento térmico de viviendas y edificios. Si se implementa el estándar de acondicionamiento térmico establecido en el PDA de Coyhaique, se podría reducir la demanda térmica de Cochrane y las emisiones de MP 2,5 en hasta un 60%. Respecto a los costos de esta medida, según referencia del SERVIU el costo de acondicionamiento térmico por unidad de superficie es alrededor de 230.000 \$/m<sup>2</sup>. Es importante indicar que si bien esta medida no es

costo-efectiva desde un punto de vista privado, si lo es desde un punto de vista público, por lo que subsidios por parte del sector público deben ir en esta línea.

- Bajo un análisis privado, el costo actual de generación de energía térmica es 31.494 \$/MWh, es decir los usuarios pagan actualmente esta tarifa de energía térmica. Si se considera un 63% de expansión de la red de calefacción distrital, el costo sería 60.895\$/MWh, a un 96%, el costo sería 79.867\$/MWh. Esto indica que no es factible implementar un proyecto de calefacción distrital en la ciudad de Cochrane sin subsidio público, esto es debido a las siguientes razones:
  - Un bajo precio de la leña, promediando los 22.707 \$/m<sup>3</sup>st en el mercado informal, en contraste con el precio de 41.000 \$/m<sup>3</sup>st en el mercado formal. Por lo que **una posible medida a tomar para aumentar los ahorros operativos netos del proyecto, es regular el mercado informal de leña, al menos a nivel regional.**
  - Una alta tasa de descuento utilizada para calcular los costos de capital (12%), junto con el período de evaluación económica elegido (20 años sugeridos por la SEREMI de Aysén), tienen una influencia directa en los costos de capital. De este modo, contribuye en gran medida a la falta de viabilidad económica para los escenarios de calefacción distrital. **Si la tasa de se redujera, por ejemplo, a las tasas ofrecidas por el Banco Mundial, que actualmente son de alrededor del 2%<sup>1</sup>, eso implicaría una reducción de los costos de capital y ayudaría a la viabilidad comercial y económica del proyecto.** Observación, el costo de capital es altamente sensible a la tasa de descuento elegida. Según EBP 2018<sup>2</sup>, un aumento en 1% en la tasa de descuento, incrementaría en un 25% en el costo de capital, mientras que una variación del periodo de amortización del proyecto de 20 años en lugar de 50 años, incrementaría el costo de capital solo en un 5%.
- Desde de un punto de vista público y privado, si bien el proyecto de calefacción distrital tiene un potencial de reducir casi la totalidad de las emisiones de MP2,5, a una alta tasa de expansión de la red, **este no es factible, esto es debido al bajo precio del material particulado fino establecido en la actualidad, 4,49USD/kg MP2,5. Sin embargo, la tendencia general es que los precios de las emisiones aumenten en el futuro cercano.** Por ejemplo, países como Dinamarca muestran precios de aprox. 25,4 USD / kgMP2,5<sup>3</sup>, que es más de cinco veces mayor que los precios utilizados para el caso en Cochrane. Por lo tanto, es posible suponer que el establecimiento de calefacción distrital en Cochrane podría presentar ahorros públicos en la medida que los precios de MP2,5 aumenten.
- **Se realizó un análisis de sensibilidad respecto al precio de emisión necesario para alcanzar un punto de equilibrio público-económico (ahorro neto de 0 \$/año) comparado con la línea base es de 5,27 USD/kgMP2,5 y 5,41 USD/kgMP2,5 para el Escenario 3 (más de un 60% expansión de la red distrital) y respectivamente Escenario 4 (96% de expansión de la red distrital). Por lo**

<sup>1</sup> <https://data.worldbank.org/indicator/FR.INR.RINR?locations=CL>

<sup>2</sup> [https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/manual\\_de\\_energia\\_distrital\\_diciembre2018.pdf](https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/manual_de_energia_distrital_diciembre2018.pdf)

<sup>3</sup> [https://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/R1702\\_energieffektivitet\\_boligopvarmning.pdf](https://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/R1702_energieffektivitet_boligopvarmning.pdf)



**tanto, el establecimiento de calefacción distrital podría tener un gran potencial para generar ahorros públicos en el futuro.**

- Si bien en este análisis se evalúa el acondicionamiento térmico de edificios y viviendas, además del establecimiento de calefacción distrital en diferentes escenarios, **es recomendado primero mejorar térmicamente las viviendas, luego implementar el proyecto de calefacción distrital.** Como se ve en la evaluación pública, ambas medidas tendrían un impacto positivo en la reducción de emisiones de MP2,5, por lo tanto, mejorarían la calidad de vida de los habitantes de Cochrane, al tiempo que mejorarían su confort térmico. **Alternativamente, se puede llevar a cabo los dos procesos simultáneamente, en principio esto reduciría los costos generales de inversión por vivienda, lo que mejoraría la viabilidad económica del proyecto.** Respecto a cómo implementar estas medidas en paralelo, la tasa de conexión a la red y el porcentaje de viviendas/edificios acondicionadas térmicamente, debe investigarse en otro estudio.
- Con respecto al precio ofrecido a los consumidores conectados a la red distrital, este no puede superar el precio que pagan actualmente por calefacción y ACS, es decir aproximadamente 31.494\$/MWh. De lo contrario podría generar desincentivos económicos, para los consumidores, para conectarse a la red de calefacción distrital.
- Se realiza una descripción de los modelos de negocios existentes, junto con una revisión bibliográfica sobre los distintos modelos que funcionan en el mundo, luego se describen los regímenes legales y sus respectivos cuerpos normativos. De esta forma se plantean 2 modelos de negocios, uno centrado en la institucionalidad actual, y otro, amparado en la Ley 21.200, que abre la posibilidad a una nueva institucionalidad, en un marco de desarrollo país distinto. Desde aquí, analizando los actores de la cadena productiva, y estableciendo criterios para una aprobación ciudadana y participativa de un proyecto de calefacción distrital, se propone un modelo de cooperativa, con la inclusión del municipio, a través de una corporación de derecho privado, empresas locales y una empresa energética especialista. La segunda propuesta, en un marco institucional sin restricciones, en base al criterio de que aún no existe en Chile las capacidades instaladas especialistas en calefacción distrital, se propone tomar esto como una oportunidad, y se propone una empresa 100% pública, que tenga la capacidad de coordinación con empresas locales, para asegurar el abastecimiento de combustible, y empresas especialistas para asegurar una correcta mantención de las calderas y redes de distribución.
- Si bien, el foco de este estudio no es el análisis de pobreza energética, es relevante señalarlo. Según la Red de Pobreza Energética *“Un hogar se encuentra en situación de pobreza energética cuando no tiene acceso equitativo a servicios energéticos de alta calidad para cubrir sus necesidades fundamentales y básicas, que permitan sostener el desarrollo humano y económico de sus miembros. Las necesidades fundamentales son aquellas que implican impactos directos en la salud humana; mientras que las necesidades básicas corresponden a aquellos requerimientos energéticos cuya pertinencia depende de las particularidades culturales y territoriales”* (Red de Pobreza Energética, 2019). Los datos cualitativos entregados por el trabajo realizado en terreno, indican que **existe un 42% de la comunidad de Cochrane, que por motivos económicos no es**



**capaz de calefaccionarse de manera constante y segura, pues limita su uso, y además alrededor de un 32% de los encuestados, no logra calefaccionar todo el hogar.** De esta forma, es pertinente ahondar en este punto, a través de estudios que puedan medir con mayor profundidad el confort térmico actual de las viviendas de Cochrane.

Finalmente, cuando se considera el valor público-económico de reducir las emisiones nocivas para la salud humana y medio ambiente, no es posible asignar un valor monetario a todos los factores relevantes. Si bien a algunas de las emisiones nocivas se les asigna un precio determinado, y su reducción tiene un efecto monetario positivo en la economía pública, es difícil cuantificar el valor de mejorar la salud general de los habitantes de Cochrane. Teniendo esto en cuenta, **si el propósito de establecer un proyecto de calefacción distrital en Cochrane es mejorar la calidad de vida de sus habitantes y aumentar el confort térmico de los recintos, entonces es claramente una buena opción, por lo que se recomienda seguir trabajando en esta línea.**



## Introducción

La contaminación del aire es responsable de 4.000 casos anuales de muerte prematura por enfermedades cardiovasculares en Chile y le cuesta a la administración 690 millones de dólares por año asociados con gastos médicos y reducción de la productividad laboral, según el primer informe ambiental del Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 2014. De hecho, según el estudio AGIES-PDA 2017 del MMA, el costo social asociado al material particulado fino (MP<sub>2,5</sub>) corresponde a 4,49 USD/kg MP<sub>2,5</sub>. La concentración de MP<sub>2,5</sub> en el sur de Chile es, en ciudades como Temuco y Coyhaique, cinco veces más alto que los estándares de la Organización Mundial de la Salud. Alrededor del 94% de esta contaminación del aire se atribuye a la quema de leña para calefaccionar viviendas unifamiliares con leña de baja calidad y calefactores ineficientes.

El MMA ha identificado la calefacción distrital como una de las tecnologías clave para mejorar la calidad del aire y eficiencia en los sistemas de calefacción, especialmente en las ciudades del Sur. Esto lo confirma la Política Nacional de Energía 2050, del Ministerio de Energía y los Planes de Descontaminación Atmosférica que lo señalan como una medida a implementar.

Los Sistemas de Energía Distrital consisten en la transferencia de energía térmica ya sea de servicios de calefacción y/o refrigeración, mediante tuberías que bombean agua caliente desde una planta general hacia múltiples usuarios. Según la iniciativa DES (“District Energy in Cities initiative”) del Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA), es una “red de tuberías subterráneas aisladas, que conducen agua fría o caliente para abastecer a múltiples edificaciones en un distrito, un vecindario o una ciudad”. Mientras algunos sistemas conectan un par de edificios, otros pueden conectar miles de viviendas a lo largo de una ciudad.

En Chile, la iniciativa DES está promoviendo particularmente la conexión de áreas urbanas nuevas y existentes a los sistemas de calefacción y refrigeración de distrital y a la trigeneración, con el apoyo del Ministerio de Energía y el Ministerio de Medio Ambiente, municipios y actores privados. Varias ciudades se han registrado y están recibiendo apoyo en forma de evaluaciones rápidas de la Iniciativa DES, financiadas por el “Global Environment Facility” o GEF y el MMA a través de sus Planes de Descontaminación Ambiental (PDA).

Desde el 2017, el Ministerio del Medio Ambiente mide la calidad del aire de Cochrane (MP<sub>10</sub> y MP<sub>2,5</sub>), debido a que la ciudad se encuentra en un valle y que las bajas temperaturas de invierno (las temperaturas mínimas no superan los 3 grados Celsius entre mayo y septiembre) provocan un fenómeno de inversión térmica, donde quedan atrapados los contaminantes en una capa de aire frío superior, sin posibilidad de dispersión por las bajas velocidades de viento. Los resultados de dichas mediciones indican que la zona podría encontrarse en saturación por material particulado fino.



En este contexto, Fundación Energía para Todos en colaboración con Plan Energía, financiados por la Seremi del Medioambiente de Aysén, presentan este estudio que evalúa la pre factibilidad técnico-económica desde un punto de vista privado y social, de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane, considerando beneficios diversos tales como la mitigación del material particulado fino.

## Objetivos

### Objetivo general

Realizar un análisis de pre factibilidad para la implementación de un proyecto de calefacción distrital en la ciudad de Cochrane.

### Objetivos específicos

- **Actividad 1:** Estimar las demandas de energía de edificaciones la ciudad de Cochrane.
- **Actividad 2:** Analizar la prefactibilidad de la implementación de un proyecto de calefacción distrital que entregue calefacción y Agua Caliente Sanitaria (ACS).



## Actividad 1: Estimar las demandas de energía de edificaciones la ciudad de Cochrane

Para determinar las demandas energéticas tanto de calefacción como de ACS, es necesario analizar y caracterizar el parque edificatorio de Cochrane. La idea es analizar las diferentes tipologías de edificios y viviendas existentes en el radio urbano de la ciudad. Esta actividad busca caracterizar este parque definiendo la cantidad y variedad de diferentes usos de edificios y viviendas, así como las materialidades constructivas más comunes en la ciudad.

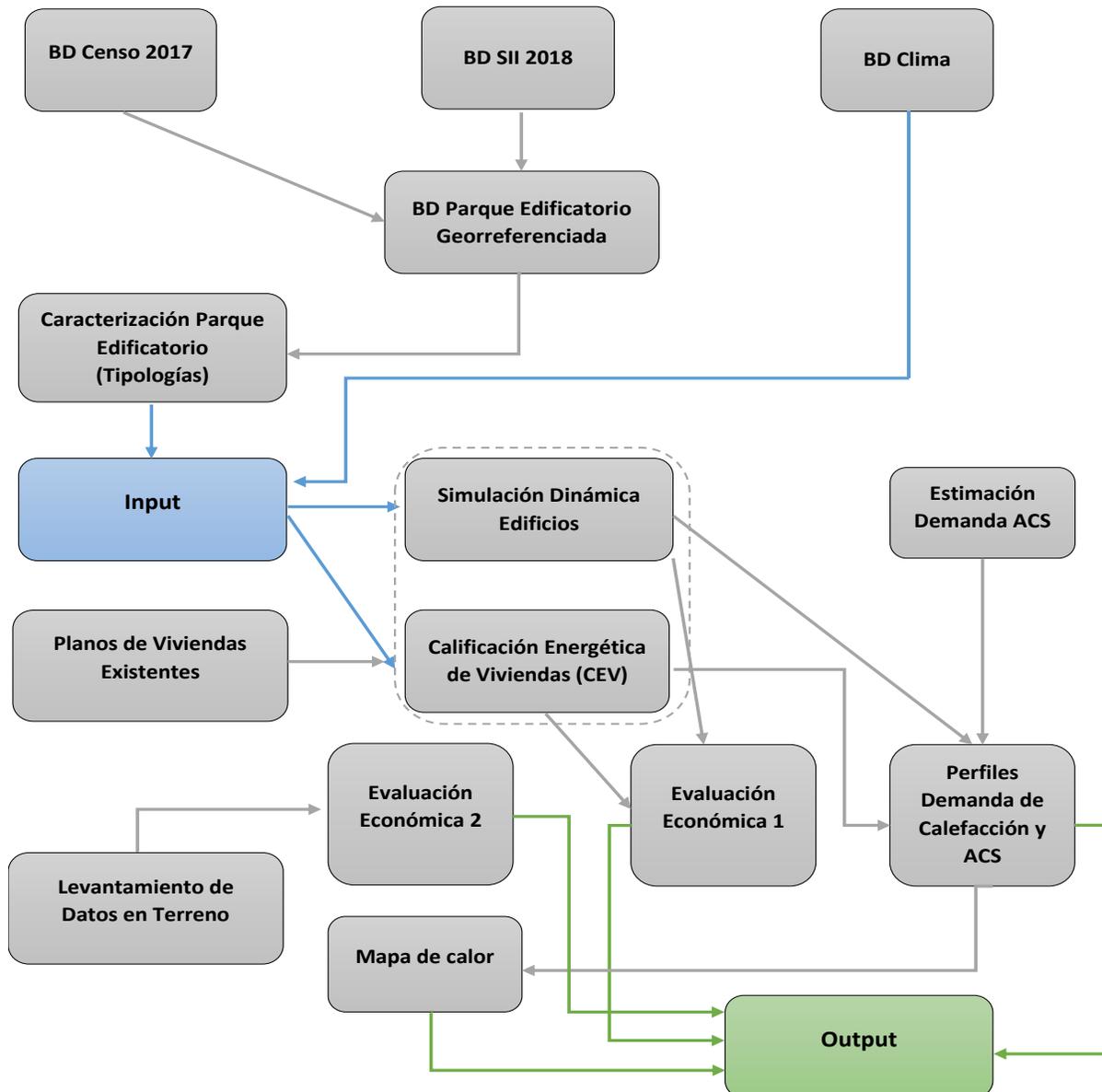
Por lo que en esta actividad se:

- Caracterizará el parque edificatorio.
- Estimaré de la demanda de calefacción y ACS en base a:
  - Simulaciones dinámicas, para el caso de calefacción edificios, y
  - el uso de la metodología de Certificación Energética de Viviendas (CEV), para el caso de viviendas (calefacción y ACS).
  - La Norma Técnica aprobada en la Res Ex N° 502, 2010, del Ministerio de Energía y la Ley 20.365, para estimar el consumo de ACS de edificios.

Esto permitirá:

- Estimar la demanda anual de calefacción y ACS, así como además generar los respectivos perfiles de demanda de las tipologías a analizar.
- Realizar una evaluación económica 1 (teórica), en base a una revisión literaria, de la situación actual (línea base). Luego comparar esta con una evaluación económica 2 (empírica), en base a datos empíricos levantados en terreno.
- Generar el mapa de calor. La figura inferior ilustra la metodología a utilizar para estimar la demanda térmica de las edificaciones de la ciudad de Cochrane.

Figura Act.1. Metodología propuesta para estimar la demanda térmica de las edificaciones.



Nota: BD = Base de Datos, SII = Servicio de Impuesto Internos. Evaluación Económica 1, refiere en base a datos teóricos y Evaluación Económica 2, refiere en base a datos empíricos.

Fuente: Elaboración propia.



## A) Reunión de ajuste metodológico

Se realizó la reunión de ajuste metodológico con éxito, en donde se presentaron la contraparte y el equipo de trabajo, se revisó la propuesta metodológica y ajustó la carta Gantt según los acuerdos alcanzados, ver detalle en anexo A.



## B) Línea base de información

Para poder caracterizar la demanda de los potenciales edificios a ser conectados a la red de calefacción distrital, fue necesario realizar una revisión de la documentación existente, en particular se analizaron:

1. Los Estudios de Ingeniería Básica y de Detalle para Proyecto de Calefacción Distrital en Cochrane del programa “Transferencia Manejo Sustentable Bosque Nativo Capitán Prat (informe N°1 ingeniería básica y detalles, licitación ID: 1092-30-LE19).
2. Informe Proyecto Eficiencia Energética y Sustentabilidad del Nuevo Hospital de Cochrane.
3. Manual de Desarrollo de Proyectos Energía Distrital.

Información valiosa fue recaba de estos documentos, en particular, desde el “Estudio de Ingeniería Básica y de Detalle para proyecto de calefacción distrital en Cochrane”, tal como se indica a continuación:

- Definición del tipo de combustible y equipo a utilizar; caldera de biomasa marca Froling, **modelo T4 de 150 kW previamente adquirida por CONAF.**
- **Ninguno de los edificios del conjunto presenta estándares de envolvente térmica.** Los valores de transmitancia térmica de muros, pisos, techumbres y ventanas se encuentran muy por debajo de los estándares recomendables por el TDR del MOP.
- **No se cuenta con especificaciones técnicas de los proyectos,** por lo cual para este estudio se asumieron ciertas calidades de conductividad de los materiales de la envolvente.

Por otra parte, el “Informe Proyecto Eficiencia Energética y Sustentabilidad del Nuevo Hospital de Cochrane” fue extraída información relevante respecto a:

- Datos proyectados de consumo de combustible y simulación dinámica del hospital, ver anexo B para mayor información.
- Para la línea base la demanda térmica es 1.001 MWh/año, 238 kWh/m<sup>2</sup> año calefacción y 7,4 kWh/m<sup>2</sup> año para enfriamiento.

El “Manual de Desarrollo de Proyectos Energía Distrital” fue utilizado para situar en términos administrativos el proyecto de calefacción distrital, identificando los distintos modelos de negocios existentes y el marco legal vigente para su desarrollo. Así, la información analizada más relevantes fue:

- La identificación los diferentes tipos de modelos de negocios existentes.
- La experiencia internacional comparada, que fue complementada a través del “Estudio Normativo para la Energía Distrital en Chile”, realizado por el Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile el año 2019.
- Los regímenes legales y sus distintos cuerpos normativos, que permiten implementar proyectos de energía distrital, donde además fue consultada la información del Estudio “Asesoría jurídica para la ejecución de proyectos de Energía Distrital”, realizado por EBP el año 2020.



## Comentarios

- Ambos estudios contienen información valiosa para establecer una línea base para el estudio de pre factibilidad de un proyecto de calefacción distrital para la ciudad de Cochrane.
- Sin embargo, el “Estudio de Ingeniería Básica y de Detalle para Proyecto de Calefacción Distrital en Cochrane”, muestra inconsistencias con respecto a la demanda energética de los edificios, por una parte, se indica que **ninguno de los edificios del conjunto cumple con estándares de envolvente térmica**, esto quiere decir que los valores de transmitancia térmica de muros, pisos, techumbres y ventanas se encuentran muy por debajo de los estándares recomendables en las exigencias de las normativas de zonificación térmica, “Arquitectura y construcción - Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico”, NCh 1079 Of.2008 (Zona SE – Sur Extremo) y OGUC Art.4.1.10 (Zona 7). Por otro lado, la demanda energética promedio por unidad de superficie estimada en este estudio es aproximadamente 140,5 kWh/m<sup>2</sup> anual, este valor dista de valores encontrados en la literatura para la misma zona térmica, por ejemplo, de acuerdo a la Guía de Diseño para Eficiencia Energética en la Vivienda Social (MINVU, 2009), una vivienda que cumple con las exigencias térmicas consume alrededor de 149-185 kWh/m<sup>2</sup> anual, la demanda energética promedio por unidad de superficie del estudio analizado es inferior a la encontrada en la literatura.
- Debido a esta inconsistencia manifestadas en el punto anterior, se procedió a realizar una simulación dinámica simple a un volumen de control que cumple con las exigencias térmicas del Plan de Descontaminación Ambiental de Coyhaique (PDA). El objetivo de este ejercicio, fue disipar las dudas respecto a la demanda energética reportadas en el “Estudio de Ingeniería Básica y de Detalle para Proyecto de Calefacción Distrital en Cochrane”. De este análisis se **concluyó que los resultados de la demanda obtenidos en el estudio “Estudio de Ingeniería Básica y de Detalle para Proyecto de Calefacción Distrital en Cochrane”, deben ser revisados y analizados detalladamente antes de ser utilizados para efecto alguno, pues se encuentran muy por debajo de los estimados (181 kWh/m<sup>2</sup>) y de los encontrados en la literatura**, para mayores detalles, ver anexo B.

## Precio de combustible (leña)

Según la información otorgada por la contraparte, existen dos mercados para la venta de leña en la ciudad de Cochrane, uno “oficial” y “no oficial”.

- Mercado oficial: Este mercado aplica para personas jurídicas (públicas y empresas), el precio es de \$41.650 por m<sup>3</sup>st (IVA incl.).

- Mercado no oficial: Este mercado aplica para personas naturales, el precio final varía entre los \$20.000 - 25.000 por m<sup>3</sup>st (IVA excl.). Clientes en este mercado normalmente no pagan IVA.

Para efectos del análisis de los edificios se utilizó el precio referencial de leña en el mercado oficial.

## Registro de calderas

En base a la información recabada por la contraparte se pudo establecer un registro de calderas existentes en la ciudad de Cochrane.

**Tabla B.1. Calderas existentes en la localidad de Cochrane.**

Edificio	Propietario	Calderas	Descripción
Hospital Lord Cochrane, antiguo	Servicio de Salud Aysén	1 caldera a petróleo	Potencia 200.000 kcal/hora, año fabricación 2000.
Hospital Lord Cochrane, antiguo	Servicio de Salud Aysén	1 caldera a leña	Potencia 150.000 Kcal/hora, año fabricación 2004, año instalación 2016.
Hospital Cochrane Nuevo (aún no entra en funcionamiento)	Servicio de Salud Aysén	2 calderas a petróleo	
Hospital Cochrane Nuevo (aún no entra en funcionamiento)	Servicio de Salud Aysén	2 calderas a leña	
Jardín Infantil Mi Baker	Municipalidad de Cochrane	1 caldera a leña	Potencia 100 KW, año fabricación 2009, año de instalación 2010.
Liceo Austral Lord Cochrane	Municipalidad de Cochrane	3 calderas a leña	Potencia 100 KW cada una, año fabricación 2012, año instalación 2012.
Escuela Teniente Hernán Merino Correa	Municipalidad de Cochrane	1 caldera a leña	Potencia 350 KW, año fabricación 2002, año instalación 2002.
Vialidad		1 caldera a petróleo	
Bomberos		1 caldera a petróleo	
Municipalidad de Cochrane	Municipalidad de Cochrane	1 caldera a leña	
Fiscalía		1 caldera a petróleo	
Compañía Andina N°20		4 calderas a gas licuado de petróleo	
Centro de Detención Preventiva	Gendarmería de Chile	2 calderas a leña	Marca Unical Fokulus 40, potencia nominal 36.114 Kcal/hora, año de fabricación 2012, año de instalación 2012.
Terminal de buses		1 caldera a leña	
Farmacia Cruz Verde	Farmacias Cruz Verde S.A.	1 caldera a petróleo	Marca SIME, combustible utilizado petróleo, año de fabricación mayo 2016, año de instalación mayo 2016.

Fuente: Elaboración propia en base a información levantada por el mandante.



## Mapa de Actores

Con el fin de facilitar el trabajo de levantamiento información técnica para el estudio, como para planificar el trabajo en terreno, se realizó un mapa de actores de la comuna, integrando a instituciones públicas, direcciones municipales y organizaciones de la sociedad civil, que de tallan a continuación:

- Instituciones Públicas: SEREMI del Medio Ambiente, SERVIU, oficinas Coyhaique y delegación provincial en Cochrane, y CONAF, oficina regional y provincial de planificación.
- Municipalidad: Departamento de Educación, Departamento Social, Dirección de Obras y Unidad de Viviendas. Además, se suman las direcciones del Liceo Austral Lord Cochrane y Escuela Básica Teniente Merino.
- Organizaciones de la sociedad civil: Cooperativa asociación gremial Baker.



## C) Mapa de calor

### Metodología

El objetivo de un mapa de calor es representar de manera visual las distintas densidades energéticas dentro del radio urbano de la ciudad de Cochrane. Este es un insumo fundamental para realizar una planificación de la red de distribución primaria y secundaria de calefacción distrital, así como también para determinar la posición de la planta.

Inicialmente se contempló el uso de la metodología para realizar mapas de calor del Ministerio de Energía. Esta metodología ha demostrado ser efectiva cuando se cuenta con información georreferenciada precisa de viviendas y edificios, esto aplica normalmente al caso de grandes ciudades. Sin embargo, esta metodología no es aplicable para el caso de Cochrane, pues la herramienta usada en la metodología del ministerio, específicamente Google maps, no cuenta con una base de datos precisa (direcciones de edificios y viviendas georreferenciadas) para poder ser utilizadas directamente. Por lo que se desarrolló una metodología alternativa para realizar esta actividad. Para mayor información respecto a la metodología desarrollada, ver Anexo C.

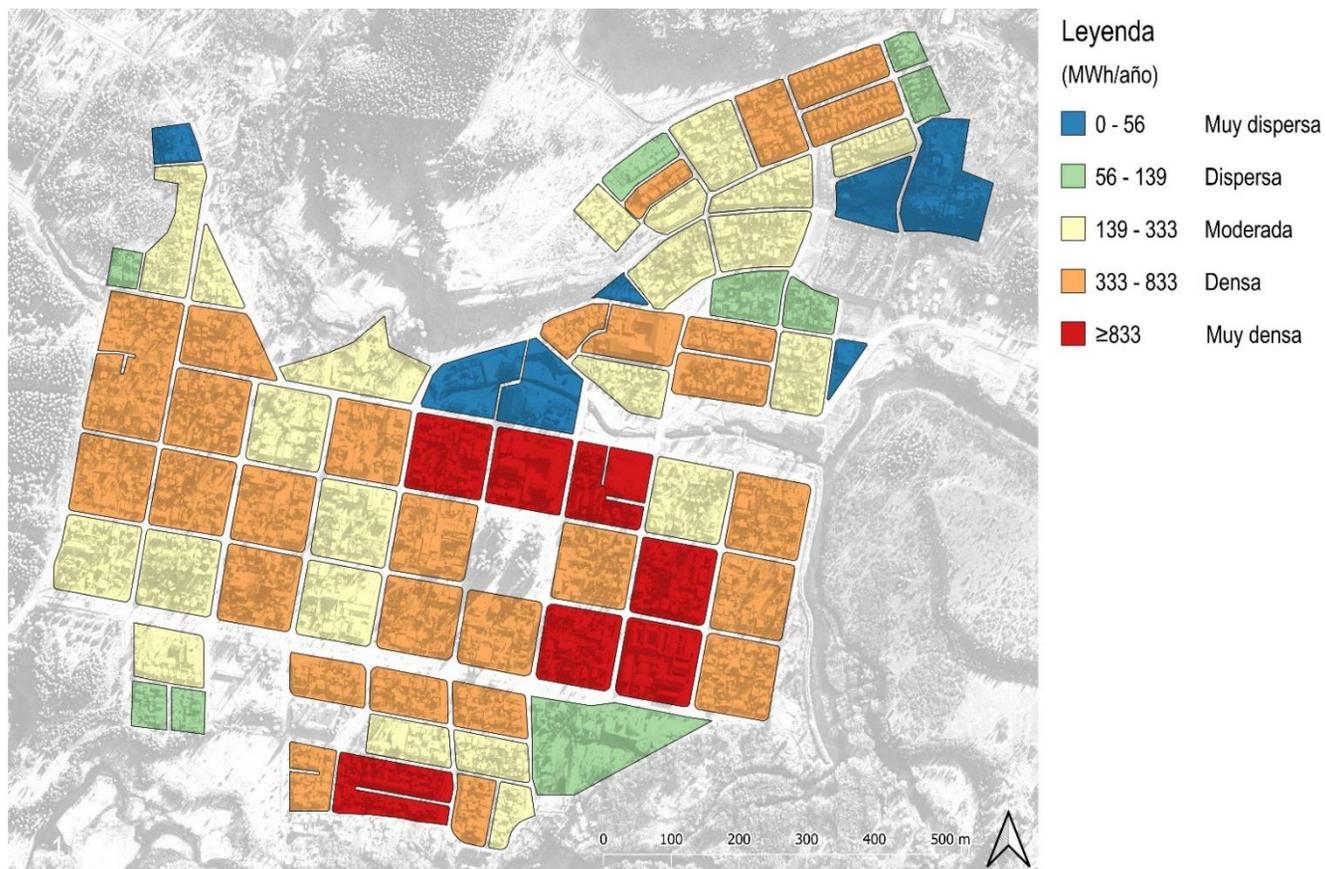
Densidad energética, en este caso representa la energía térmica demandada anualmente de una vivienda por unidad de superficie. En este caso se consideró la demanda térmica de viviendas y edificios en una manzana (área de 100x100m). Las clases<sup>4</sup> de densidades energéticas por manzana fueron estimadas en base al "HeatMap Chile" realizado por Universidad de Aalborg (2019).

La figura C1, muestra que la ciudad de Cochrane es relativamente densa energéticamente (línea base), esto es debido principalmente a la baja calidad de la envolvente térmica de las viviendas. Sin embargo, si se implementan medidas de acondicionamiento térmico de acuerdo al estándar del PDA, la densidad de la demanda energética será más bien moderada y dispersa tal como se puede apreciar en la figura C2.

---

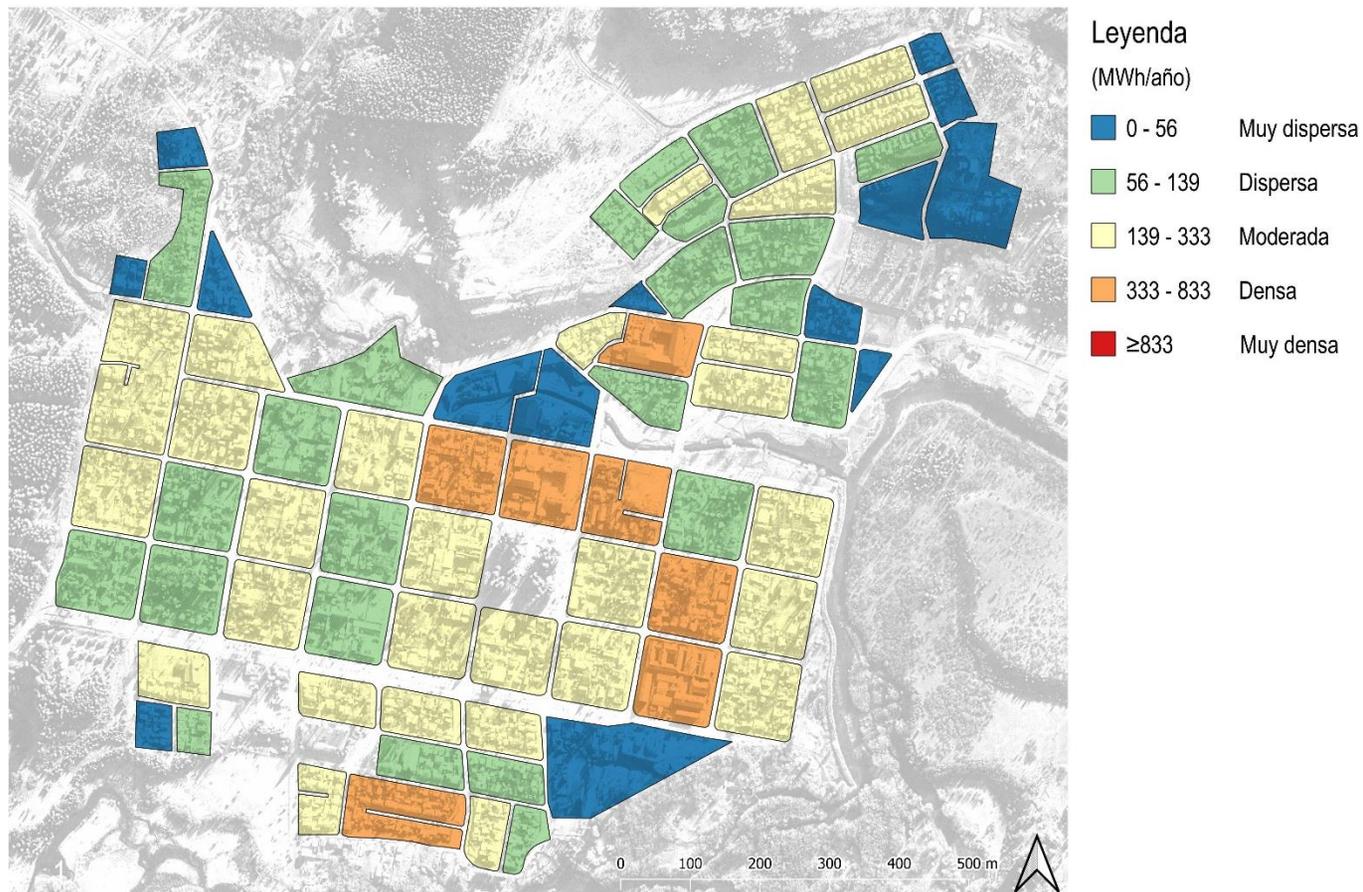
<sup>4</sup> Muy dispersa, dispersa, moderada, densa y muy densa.

Figura C.1. Mapa de calor línea base – Cochrane, Chile



Fuente: elaboración propia.

Figura C.2. Mapa de calor acondicionamiento térmico – Cochrane, Chile



Fuente: elaboración propia.



## D) Demanda térmica edificios - simulación dinámica

Es importante indicar que según lo establecido en el la Reunión Seguimiento N°2 (14 de noviembre 2019), los edificios a evaluar son los siguientes:

- Edificio Municipalidad
- Escuela Tte. Hernán Merino Correa
- Jardín infantil mi Baker
- Liceo Austral Lord Cochrane
- Hospital de Cochrane

El Hospital de Cochrane ya cuenta con una estimación de su demanda energética en base a simulación dinámica, por lo que se usan los resultados estimados para este caso.

### Estimación de la demanda de térmica y perfiles de demanda

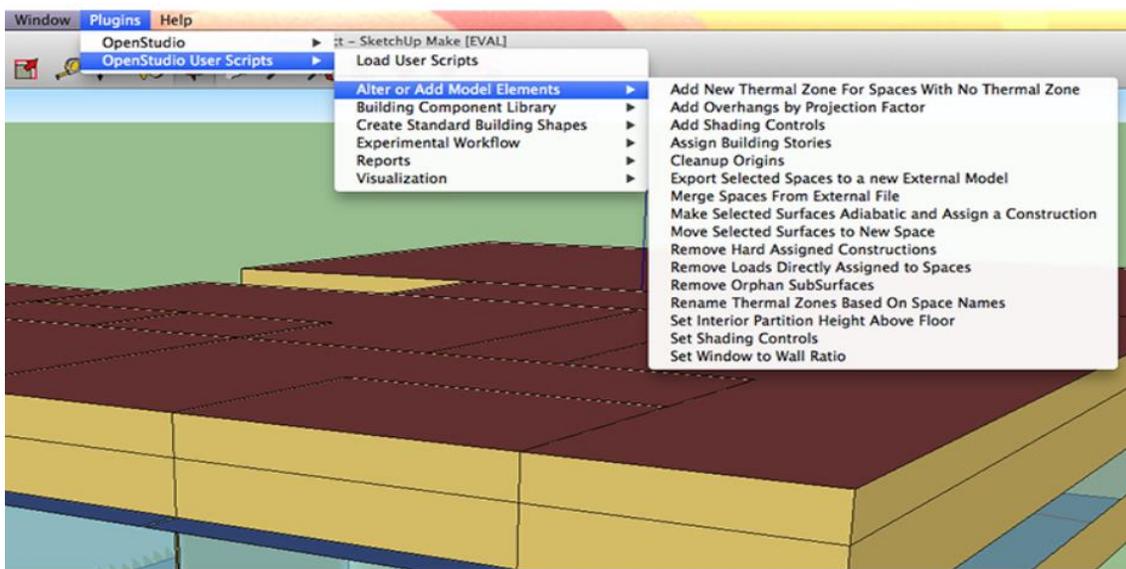
Para estimar la demanda de calefacción de los edificios seleccionados se utilizó el software OpenStudio versión 2.8.0, ver figura inferior. OpenStudio<sup>5</sup> permitirá modelar las diferentes tipologías edificatorias considerando las condiciones climáticas de Cochrane. Este software usa como motor de simulación el software ENERGYPLUS<sup>6</sup> versión 8.7, simulador energético de edificios reconocido a nivel internacional en esta área.

---

<sup>5</sup> <https://www.openstudio.net/>

<sup>6</sup> <https://energyplus.net/>

Figura D.1. Interface OpenStudio.



Fuente: Tutorial OpenStudio (2019).

## Simulación dinámica de edificios

El objetivo de este análisis es estimar:

- Demandas anuales térmicas totales y por unidad de superficie.
- Perfiles de demanda de calefacción.

## Generalidades

Es importante destacar que la simulación dinámica se utilizará como herramienta para la evaluación de las condiciones de Calidad del Ambiente Interior y Energía para las categorías de Arquitectura e Instalaciones (sistemas activos) de la Certificación de Edificio Sustentable (CES).

Antes de comenzar con la simulación se preparó información respecto a:

- Ubicación y clima; zona térmica, base de datos climática de la zona, ver punto b).
- Construcción de los edificios; planos, caracterización de la envolvente térmica, materiales, etc.
- Uso de los edificios; tipo de establecimiento, datos de operación, número de personas, equipos, etc.
- Control termostático de los edificios (temperatura de confort).
- Sistemas HVAC.



- Nivel de infiltraciones Renovaciones de Aire por Hora (RAH).
- Equipos generadores; caldera a biomasa, potencia, consumo de combustible, eficiencias, etc.

## Edificio municipal

La tabla inferior muestra la dirección y coordenadas del edificio de la municipalidad de Cochrane.

**Tabla D.1. Ubicación.**

Nombre	Dirección	Latitud	Longitud	Uso Edificación
Edificio Municipalidad	Esmeralda 398	-47.2562	-72.5729	Publico/oficina

Fuente: elaboración propia.

### Caracterización de la envolvente térmica

- **Este edificio no presenta estándares de envolvente térmica.** Los valores de transmitancia térmica de muros, pisos, techumbres y ventanas se encuentran muy por debajo de los estándares recomendables.
- **No se cuenta con especificaciones técnicas de los proyectos,** por lo cual se ha tenido que asumir ciertas calidades de conductividad de los materiales de la envolvente en base a la Norma Chilena 853, NCh 853, 2007 y Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, ED11 2014, ver Anexo D.

Figura D.2. Edificio Municipalidad de Cochrane



Fuente: Estudio de Ingeniería Básica y de Detalle para Proyecto de Calefacción Distrital en Cochrane del programa, CONAF 2019.  
Nota: Este edificio cuenta con 388 m<sup>2</sup> construidos en 2 niveles, sin embargo, el área acondicionada corresponde a 277 m<sup>2</sup>.

La tabla inferior describe los principales componentes del edificio.

Tabla D.2. Descripción general.

Tipo	Descripción	Observaciones
<b>Estructura soportante de muros</b>	Envigado, pilares y tijerales en base a perfiles tubulares y canales de acero a la vista. En primer piso, se observa una albañilería enlucida y pintada por ambas caras, confinada entre diagonales y pilares de acero. En segundo piso se observa una tabiquería de madera revestida por el interior con placa de madera o entablado, y revestimiento de fibrocemento pintado por el exterior.	En algunos muros se observa un cambio de revestimiento al exterior por madera. No se observa la presencia de aislante térmico en dichos tabiques. No se observan estructuras soportantes interiores que puedan contribuir como masa térmica.
<b>Estructura de techumbre</b>	Entretecho de gran altura en forma de A con revestimiento de cielo.	No se evidencia la presencia de aislante térmico, por lo cual se considera como una cámara no ventilada.
<b>Piso</b>	Radier de hormigón en contacto con el terreno.	Sin aislación.
<b>Ventanas</b>	Vidrio simple y marco de Aluminio	
<b>Criterios de Hermeticidad</b>	No se cuenta con burletes, felpas o sellos de silicona en ventanas y/o puertas del edificio	
<b>Estado general de conservación</b>	Malo	Se observa deterioro general producto de las condiciones climáticas, gran cantidad de puentes térmicos y terminaciones, producto de la estructura de acero a la vista, que desfavorece el desempeño térmico y la hermeticidad de la envolvente, y, por otro lado, favorece la formación de humedad interior y afectación de los materiales.

Fuente: Elaboración propia en base a Estudio de Ingeniería de Detalle para Proyecto de Calefacción Distrital en Cochrane, CONAF 2019.

### Consideraciones

La tabla inferior muestra las principales consideraciones para determinar la carga interna y el perfil de uso del edificio.

Tabla D.3. Carga internas y horarios de uso.

Item	Unidad	Uso Semana	Uso fin de semana
Personas	20	0800-18.00	NA
Luces	20 W/m <sup>2</sup>	08.00-18.00	NA
Actividad	117 W/persona	08.00-18.00	NA
Termostato set points	21-24 C (calefacción - refrigeración)	08.00-18.00	NA

Notas: Actividad de una persona trabajando en una oficina corresponde a 117 W/persona, fuente Energy plus. <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-8/input-output-reference/group-internal-gains-people-lights-other.html#people>. Se consideró que la oficina se encuentra ocupada en un 90% durante la semana.

La tabla inferior muestra los principales inputs al modelo respecto a sistemas HVAC e infiltraciones del edificio.

**Tabla D.4. Sistema HVAC.**

Item	Unidad	Uso Semana	Uso fin de semana
Termostato set points	21-24 C (calefacción - refrigeración)	08.00-18.00	NA
Infiltraciones	15 RAH	08.00-18.00	NA
Ventilación	0,0025 m <sup>3</sup> /s persona	08.00-18.00	NA

Notas: Infiltraciones N50, se usó como referencia 15 RAH (equivalentes a 1,54 RAH en N4), promedio de infiltraciones para la ciudad de Cochrane. Cabe mencionar que edificaciones en la ciudad de Cochrane son muy sensibles a las infiltraciones, siendo la 2da capital provincial más sensible en el país, GDi 5.215 (C día/año). Ventilación, se considera ventilación natural de acuerdo a los caudales de ventilación mínimos exigidos para edificios de oficinas 2,5 litros/s persona o 0,3 litros/s m<sup>2</sup>.

Fuente: Manual Hermeticidad al Aire de Edificaciones - Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

### Geometría equivalente

Debido a la complejidad de una simulación dinámica, se optó por realizar una simplificación de la geometría considerando geometría de la zona térmica equivalente. Básicamente se consideró:

- Áreas acondicionadas del primer y segundo piso (277 m<sup>2</sup> en total).
- Alturas.
- Superficies opacas (puertas).
- Superficies translúcidas (ventanas).
- Orientación de las superficies.

La tabla inferior muestra la geometría equivalente.

Tabla D.5. Geometría equivalente.

Item	Unidad	Muros	Ventana Norte	Ventana Sur	Ventana Este	Ventana Oeste	Puerta Oeste
Alto equivalente	m	3,6	2	2	2	2	2
Largo equivalente	m	17	8	6	7	12	1,4

Fuente: elaboración propia.

La tabla inferior muestra los valores de transmitancia térmica utilizados.

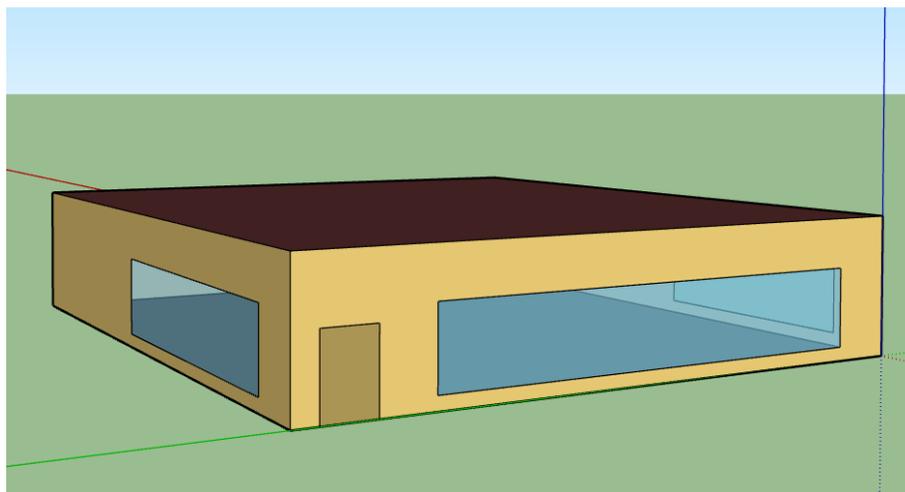
Tabla D.6. Transmitancia térmica (U-Factor) - línea base y situación mejorada

Solución constructiva	Línea base - U-Factor [W/m <sup>2</sup> -C]	Situación mejorada - U-Factor [W/m <sup>2</sup> -C]
Muros	2,21	0,291
Techumbre	3,21	0,216
Ventanas	5,78	3,61
Puerta	5,97	5,97
Piso	Adiabático	Adiabático

Nota: Adiabático es decir que no intercambia calor con su exterior.

La figura inferior representa el modelo térmico del edificio municipal.

Figura D.3. Modelo térmico de edificio municipal.



Nota: Un modelo térmico no es un modelo geométrico, el primero tiene por objetivo representar un volumen de aire que es sometido a diferentes flujos de calor debido a variaciones de temperatura exterior e interior. Mientras que el segundo tiene por objetivo representar la geometría de un cuerpo.

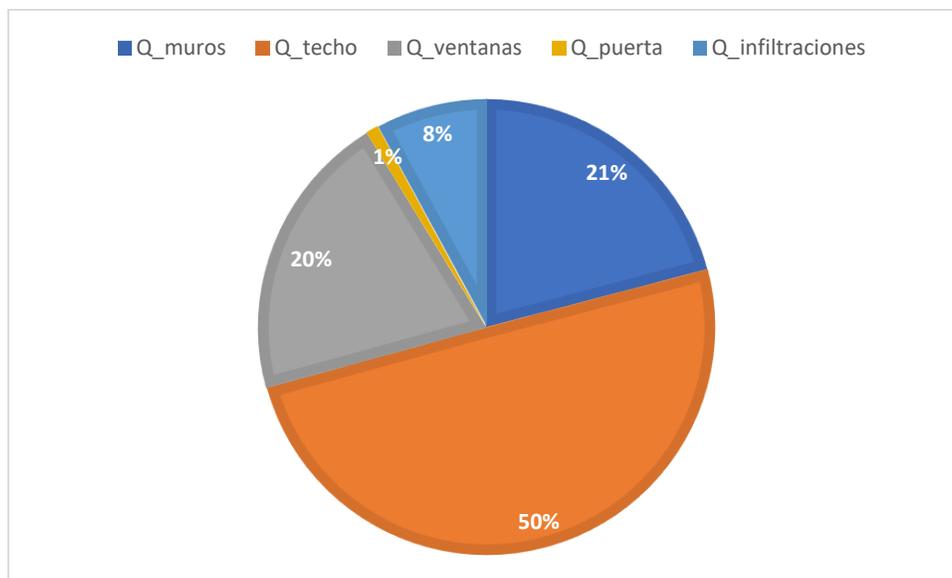
## Resultados

Se procedió a realizar una simulación dinámica por un periodo de un año para los siguientes escenarios:

- Línea base: condiciones actuales de la envolvente térmica del edificio e infiltraciones 15RAH n50 equivalentes a 1,54 RAH n4.
- Situación mejorada: condiciones después de reacondicionar la envolvente bajo los estándares del PDA de Coyhaique, más implementación de criterio de hermeticidad 7,1 RAH n50 equivalentes a 0,73 RAH n4.

Debido a la mala calidad de la envolvente térmica este edificio, las pérdidas de calor por elemento constructivo, puede llegar a representar un 92% de las pérdidas totales. En particular, 50% pérdidas de calor a través del techo, muros 21%, ventanas 20%, puerta 1%, finalmente infiltraciones 8%, ver figura inferior.

**Figura D.4. Pérdidas de calor por transferencia e infiltraciones**



Fuente: elaboración propia.

La tabla inferior muestra los resultados de la comparación de la línea base vs situación mejorada. La municipalidad demanda anualmente 211 MWh de energía térmica, es decir unos 763 kWh/m<sup>2</sup>. El bajo desempeño térmico de este edificio es debido a la mala calidad de la envolvente térmica y muy deficiente hermeticidad. De reacondicionar térmicamente la envolvente térmica en base a los

estándares del PDA de Coyhaique, además de mejorar la hermeticidad de la misma, se podría alcanzar los 213 kWh/m<sup>2</sup>, esto significaría ahorrar hasta un 72% de energía térmica, con el consecuente ahorro de combustible anual.

**Tabla D.7. Comparación línea base vs situación mejorada.**

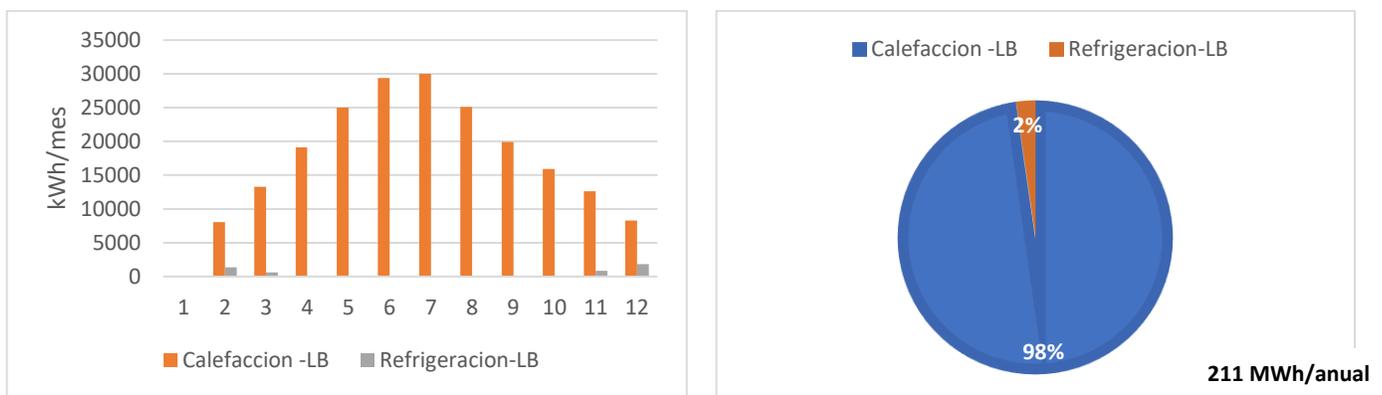
Item	Línea base		Situación mejorada		Diferencia (%)
	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	
<b>Demanda</b>	211	763	59	213	72%

Nota: Demanda incluye únicamente energía térmica.

Fuente: elaboración propia.

La figura inferior muestra los perfiles de consumo térmico mensuales para la línea base. Cabe destacar que para cumplir con el confort térmico propuesto (termostato set point a 21-24 grados), el edificio debe balancear las pérdidas de calor aún durante los meses de invierno e incluso verano. El edificio demanda anualmente 211 MWh, de los cuales un 98% corresponde a calefacción y solo un 2% a refrigeración.

**Figura D.5. Perfiles de demanda - Línea base y porcentajes de calefacción vs refrigeración**



Nota: SM = situación mejorada.

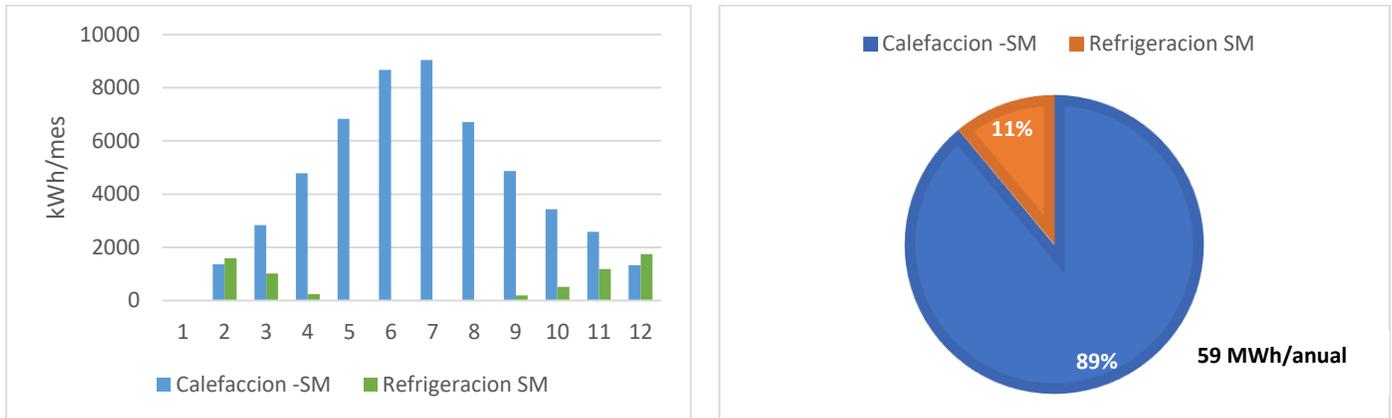
Fuente elaboración propia.

La figura inferior muestra la situación mejorada, es posible evidenciar el impacto del ahorro de calefacción mensualmente, gracias al mejoramiento de la hermeticidad y componentes de la envolvente térmica del edificio. Cabe destacar que las medidas de mejora propuesta afectarían significativamente la demanda de refrigeración del edificio, pasando de 2% a 11% de la demanda térmica anual (6,5 MWh), esto se puede interpretar como un sobrecalentamiento del edificio en verano, pese a esto, el efecto neto de las medidas de conservación de energía propuesto es positivo.



Finalmente, cabe indicar que la demanda térmica durante enero es cero pues se considera un mes de vacaciones.

**Figura D.6. Perfiles de demanda –Situación mejorada y porcentajes de calefacción vs refrigeración**



Nota: LB = Línea base  
Fuente elaboración propia.

## Jardín Infantil Mi Baker

La tabla inferior muestra la dirección y coordenadas del edificio del Jardín infantil mi Baker.

**Tabla D.8. Ubicación.**

Nombre	Dirección	Latitud	Longitud	Uso Edificación
Jardín Infantil Mi Baker	Bernardo O'Higgins 295	-47.25531	-72.5794	Educativa

Fuente: elaboración propia.

### Caracterización de la envolvente térmica

- **Actualmente este edificio no presenta estándares de envolvente térmica salvo las ventanas que corresponde a termo panel de PVC.** Sin embargo, según la información levantada en terreno, este edificio se encuentra en reparaciones y por lo tanto renovación de su envolvente térmica asimilara a la normativa vigente, según el artículo 4.1.10 de la OGUC, según zonificación, correspondiendo a esta comuna Zona tipo 7. Por lo que se establece la línea base según la norma indicada anteriormente.
- **No se cuenta con especificaciones técnicas de los proyectos,** por lo cual se ha tenido que asumir ciertas calidades de conductividad de los materiales de la envolvente en base a la

Norma Chilena 853, NCh 853, 2007 y Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, ED11 2014, ver Anexo D.

Figura D.7. Jardín Infantil Mi Baker



Nota: Este edificio cuenta con 1.032 m<sup>2</sup> construidos en 2 niveles, sin embargo, el área acondicionada corresponde a aprox. 704 m<sup>2</sup>.  
Fuente: Foto Google Maps.

La tabla inferior describe los principales componentes del edificio.

Tabla D.9. Descripción general.

Tipo	Descripción	Observaciones
<b>Estructura soportante de muros</b>	Tabiquería de madera, escuadría de tabique aproximado de 5 pulgadas. Revestimiento exterior Zinc 5v. Revestimiento interior maciza. Aislación hídrica filtro 10lbs.	No se observa aislación térmica.
<b>Estructura de techumbre</b>	Estructura de Cerchas en madera. Revestimiento exterior Planchas PV4. Revestimiento interior Maciza	No se evidencia la presencia de aislante térmico.
<b>Piso</b>	Radier de hormigón, revestido en Flexit	Sin aislación.
<b>Ventanas y puertas</b>	Puertas exteriores y ventanas de PVC termo panel. Puertas interiores de maciza	Con aislación.
<b>Criterios de Hermeticidad</b>	No hay información.	
<b>Estado general de conservación</b>	Regular	Se observa deterioro general producto de las condiciones climáticas, gran cantidad de puentes térmicos y terminaciones, producto de la estructura de acero a la vista, que desfavorece el desempeño térmico y la hermeticidad de la envolvente, y, por otro lado, favorece la formación de humedad interior y afectación de los materiales.
<b>Equipo calefacción</b>	1 caldera a leña, marca INDUCTOMETAL. Potencia 100 kW aprox.	Radiadores al interior del Establecimiento, excepto en gimnasio.

Fuente: Elaboración propia en base a información levantada por el mandante.

## Consideraciones

La tabla inferior muestra las principales consideraciones para determinar la carga interna y el perfil de uso del edificio.

**Tabla D.10. Carga internas y horarios de uso.**

Item	Unidad	Uso Semana	Uso fin de semana
Personas	114	08.00-19.00	NA
Actividad	216 W/persona	08.00-19.00	NA
Termostato set points	21-24 C (calefacción - refrigeración)	08.00-19.00	NA

Notas: Actividad de una persona cargando y descargando (en movimiento) corresponde a 216 W/persona, fuente Energy plus. <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-8/input-output-reference/group-internal-gains-people-lights-other.html#people>. Se consideró que el edificio se encuentra ocupado en un 90% durante la semana.  
Fuente: elaboración propia en base a información levantada por el mandante.

La tabla inferior muestra los principales inputs al modelo respecto a sistemas HVAC e infiltraciones del edificio.

**Tabla D.11. Sistema HVAC.**

Item	Unidad	Uso Semana	Uso fin de semana
Termostato set points	21-24 C (calefacción - refrigeración)	08.00-18.00	NA
Infiltraciones	15 RAH	08.00-18.00	NA
Ventilación	0,0025 m <sup>3</sup> /s persona	08.00-18.00	NA

Notas: Infiltraciones N50, se usó como referencia 15 RAH (equivalentes a 1,54 RAH en N4), promedio de infiltraciones para la ciudad de Cochrane. Cabe mencionar que edificaciones en la ciudad de Cochrane son muy sensibles a las infiltraciones, siendo la 2da capital provincial más sensible en el país, GDí 5.215 (C día/año). Ventilación, se considera ventilación natural de acuerdo a los caudales de ventilación mínimos exigidos para edificios de oficinas 2,5 litros/s persona o 0,3 litros/s m<sup>2</sup>.  
Fuente: Manual Hermeticidad al Aire de Edificaciones - Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

## Geometría equivalente

Debido a la complejidad de una simulación dinámica se optó por realizar una simplificación de la geometría considerando geometría de la zona térmica equivalente. Básicamente se consideró:

- Áreas acondicionadas del primer y segundo piso (704 m<sup>2</sup> en total).
- Alturas.
- Superficies opacas (puertas).
- Superficies translucidas (ventanas).
- Orientación de las superficies.



La tabla inferior muestra la geometría equivalente.

**Tabla D.12. Geometría equivalente.**

Item	Unidad	Muros	Ventana Norte	Ventana Sur	Ventana Este	Ventana Oeste	Puerta Oeste
Alto equivalente	m	2,35	2	2	2	2	NA
Largo equivalente x ancho	m	44x16	1.8	1.8	1.8	1.8	NA

Fuente: elaboración propia.

La tabla inferior muestra los valores de transmitancia térmica utilizados.

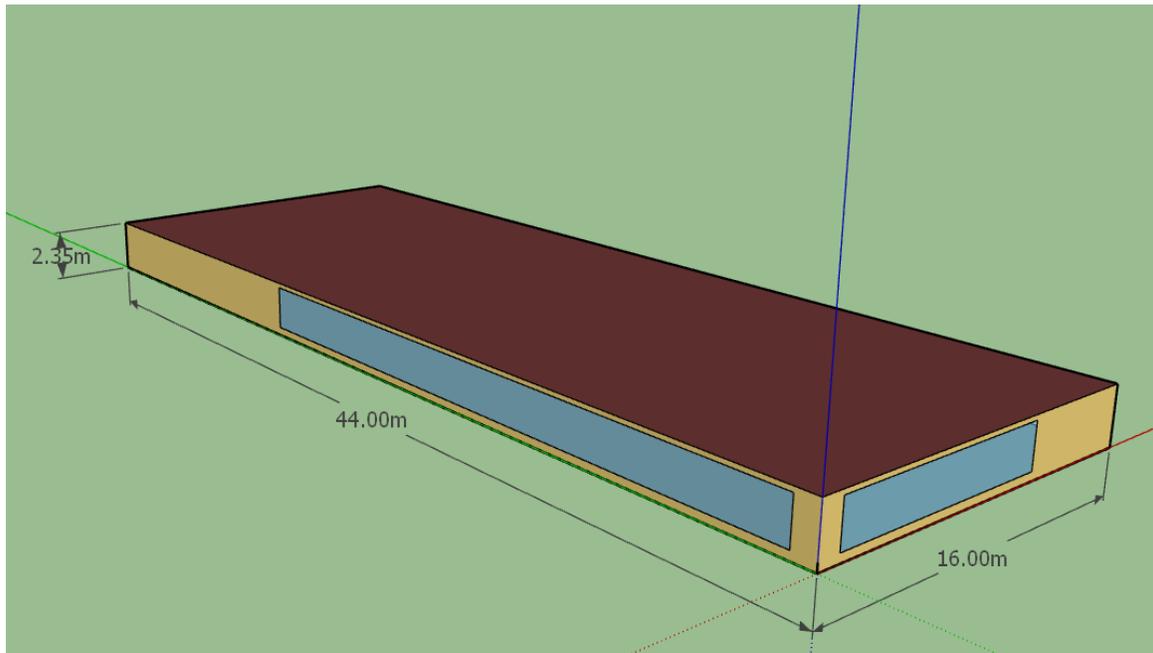
**Tabla D.13. Transmitancia térmica (U-Factor) - línea base y situación mejorada**

Solución constructiva	Línea base U-Factor [W/m <sup>2</sup> -C]	Situación mejorada - U-Factor [W/m <sup>2</sup> -C]
Muros	0,505	0,291
Techumbre	0,232	0,216
Ventanas	3,61	3,61
Puerta	5,97	5,97
Piso	Adiabático	Adiabático

Nota: Adiabático es decir que no intercambia calor con su exterior.

La figura inferior representa el modelo térmico del edificio municipal.

Figura D.8. Modelo térmico de Jardín Infantil Mi Baker.



Nota: Un modelo térmico no es un modelo geométrico, el primero tiene por objetivo representar un volumen de aire que es sometido a diferentes flujos de calor debido a variaciones de temperatura exterior e interior. Mientras que el segundo tiene por objetivo representar la geometría de un cuerpo.

Fuente: elaboración propia.

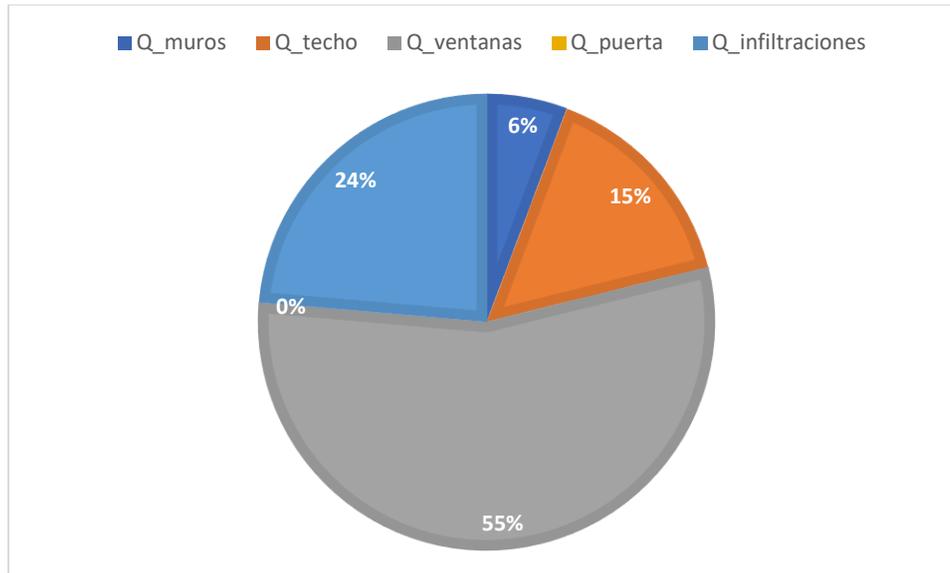
## Resultados

Se procedió a realizar una simulación dinámica por un período de un año para los siguientes escenarios:

- Línea base: condiciones actuales de la envolvente térmica del edificio e infiltraciones 15RAH n50 equivalentes a 1,54 RAH n4.
- Situación Mejorada: condiciones después de reacondicionar la envolvente bajo los estándares del PDA de Coyhaique, más implementación de criterio de hermeticidad 7,1 RAH n50 equivalentes a 0,73RAH n4.

Debido a la mala calidad de la envolvente térmica este edificio, las pérdidas de calor por elemento constructivo, puede llegar a representar un 76% de las pérdidas totales. En particular, 15% perdidas de calor a través del techo, muros 6%, ventanas 55%, puerta menos de un 1%, finalmente infiltraciones 6%, ver figura inferior.

Figura D.9. Pérdidas de calor por transferencia e infiltraciones



Fuente: elaboración propia.

La tabla inferior muestra los resultados de la comparación de la línea base vs situación mejorada. El edificio demanda anualmente 179 MWh de energía térmica (calefacción y enfriamiento), es decir unos 241 kWh/m<sup>2</sup> anuales. El desempeño térmico de este edificio es debido a la muy deficiente hermeticidad, considerando las condiciones locales. De reacondicionar térmicamente la envolvente térmica en base a los estándares del PDA de Coyhaique, además de mejorar la hermeticidad de la misma, se podría alcanzar los 156 kWh/m<sup>2</sup>, esto significaría ahorrar hasta un 35% de energía térmica, con el consecuente ahorro de combustible anual.

Tabla D.14. Comparación línea base vs situación mejorada.

Item	Línea base		Situación mejorada		Ahorro (%)
	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	
<b>Demanda</b>	174	241	112	156	35%

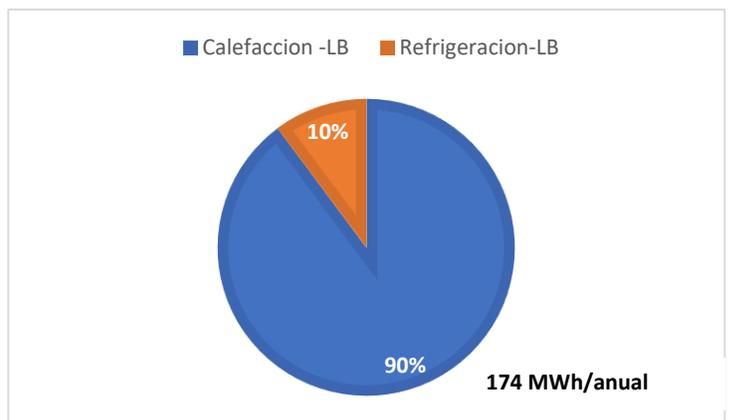
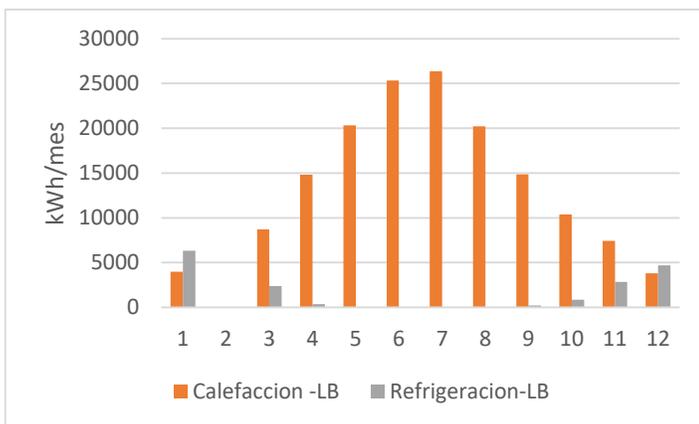
Nota: Demanda incluye energía térmica (calefacción y refrigeración).

Fuente: elaboración propia.

Las figuras inferiores muestran los perfiles de consumo térmico mensuales para la línea base y la situación mejorada. Es posible evidenciar el impacto del mejoramiento de la hermeticidad y componentes de la envolvente térmica del edificio, aún cuando el edificio se sobrecalienta debido a la implementación de las medidas propuestas durante los meses de verano, el edificio ahorraría hasta un 35% de energía anualmente.

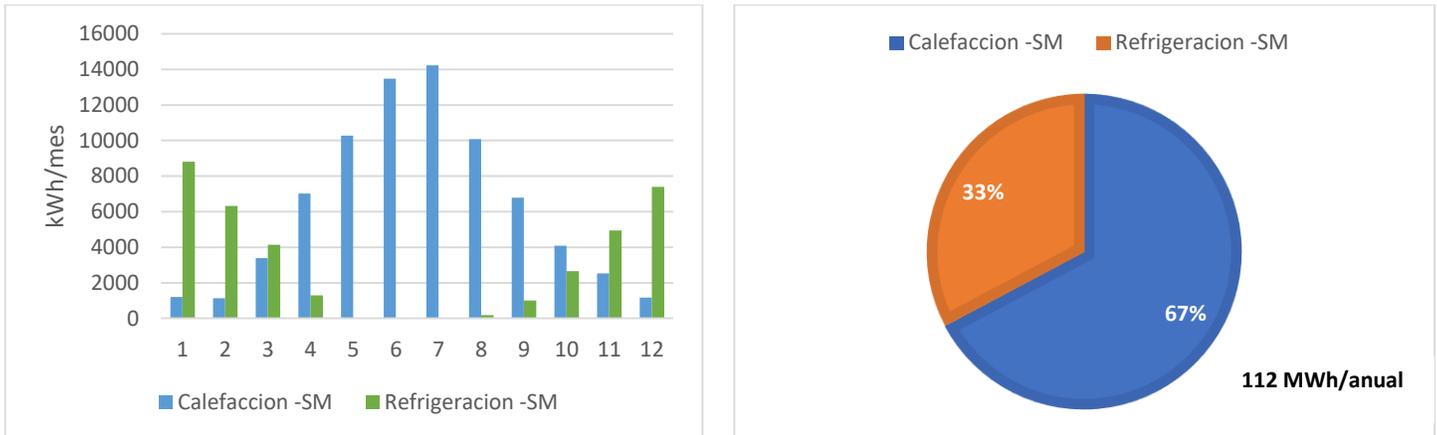
Además, cabe destacar que para cumplir con el confort térmico propuesto (termostato setpoint a 21-24 grados), el edificio debe balancear las pérdidas de calor durante los meses de invierno e incluso verano. También cabe destacar que las medidas de mejora propuesta afectarían significativamente la demanda de refrigeración del edificio pasando de un 10% de la demanda total a un 33%. Finalmente, cabe indicar que febrero es mes de vacaciones por lo que la demanda térmica es considerada cero para este mes.

**Figura D.10. Perfiles de demanda - Línea base y porcentajes de calefacción vs refrigeración**



Nota: LB= Línea base  
Fuente elaboración propia.

Figura D.11. Perfiles de demanda - Situación mejorada y porcentajes de calefacción vs refrigeración



Nota: SM= situación Mejorada.  
Fuente elaboración propia.

## Liceo Austral Lord Cochrane

La tabla inferior muestra la dirección y coordenadas del edificio.

Tabla D.15. Ubicación.

Nombre	Dirección	Latitud	Longitud	Uso Edificación
Liceo Austral Lord Cochrane	Luis Báez 785	-47.25108	-72.57051	Educacional

Fuente: elaboración propia.

### Caracterización de la envolvente térmica

- **Este edificio presenta estándares de envolvente térmica.**
- **No se cuenta con especificaciones técnicas de los proyectos,** por lo cual se ha tenido que asumir ciertas calidades de conductividad de los materiales de la envolvente en base a la Norma Chilena 853, NCh 853, 2007 y Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, ED11 2014, ver Anexo D.

Figura D.12. Liceo Austral Lord Cochrane.



Fuente: Foto <https://infraestructuraescolar.mineduc.cl/archivo-fotografico/region-xi/liceo-austral-lord-cochrane/>

Nota: Este edificio cuenta 2 niveles, el área acondicionada corresponde aprox. 2.850 m<sup>2</sup>.

La tabla inferior describe los principales componentes del edificio.

Tabla D.16. Descripción general.

Tipo	Descripción	Observaciones
Estructura soportante de muros	Estructura de dos pisos, principalmente de hormigón armado, con estuco de revestimiento y Fibrocemento tipo northway. Tabiques interiores de acero estructural galvanizado. Revestido con yeso cartón y terciado ranurado, según zonas húmedas o secas. Posee envolvente térmica. Muros exteriores con poliestireno expandido. En tabiques interiores de acero galvanizado tiene lana mineral como aislación	Con aislación.
Estructura de techumbre	Estructura de cerchas metálicas. Cubierta de acero galvanizado pre pintado.	No se evidencia la presencia de aislante térmico.
Piso	Radier de hormigón, y losa de hormigón, revestidos con cerámica y vinílicos.	Sin aislación.
Ventanas y puertas	Puertas exteriores y ventanas de Aluminio termopanel. Puertas interiores de maciza	Con aislación.
Criterios de Hermeticidad	No hay información.	
Estado general de conservación	Regular	Se observa que el edificio en una regular condición salvo la falta de aislación térmica en el techo.
Equipo calefacción	3 calderas a leña marcan ATMOS. Potencia 100 kw cada una. Instalación 2012.	Radiadores al interior del Establecimiento, excepto en gimnasio.

Fuente: Elaboración propia en base a información levantada por el mandante.



## Consideraciones

La tabla inferior muestra las principales consideraciones para determinar la carga interna y el perfil de uso del edificio.

**Tabla D.17. Cargas internas y horarios de uso.**

Ítem	Unidad	Uso Semana	Uso fin de semana
Personas	280	08.00-19.00	NA
Actividad	216 W/persona	08.00-19.00	NA
Termostato set points	21-24 C (calefacción -refrigeración)	08.00-19.00	NA

Notas: Actividad de una persona cargando y descargando (en movimiento) corresponde a 216 W/persona, fuente Energy plus. <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-8/input-output-reference/group-internal-gains-people-lights-other.html#people>. Se consideró que el edificio se encuentra ocupado en un 90% durante la semana.

La tabla inferior muestra los principales inputs al modelo respecto a sistemas HVAC e infiltraciones del edificio.

**Tabla D.18. Sistema HVAC.**

Item	Unidad	Uso Semana	Uso fin de semana
Termostato set points	21-24 C (calefacción -refrigeración)	08.00-18.00	NA
Infiltraciones	15 RAH	08.00-18.00	NA
Ventilación	0,0025 m <sup>3</sup> /s persona	08.00-18.00	NA

Notas: Infiltraciones N50, se usó como referencia 15 RAH (equivalentes a 1,54 RAH en N4), promedio de infiltraciones para la ciudad de Cochrane. Cabe mencionar que edificaciones en la ciudad de Cochrane son muy sensibles a las infiltraciones, siendo la 2da capital provincial más sensible en el país, GDi 5.215 (C día/año). Ventilación, se considera ventilación natural de acuerdo a los caudales de ventilación mínimos exigidos para edificios de oficinas 2,5 litros/s persona o 0,3 litros/s m<sup>2</sup>.

Fuente: Manual Hermeticidad al Aire de Edificaciones - Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

## Geometría equivalente

Debido a la complejidad de una simulación dinámica se optó por realizar una simplificación de la geometría considerando geometría de la zona térmica equivalente. Básicamente se consideró:

- Áreas acondicionadas del primer y segundo piso (2.850 m<sup>2</sup> en total).
- Alturas.
- Superficies opacas (puertas).
- Superficies translucidas (ventanas).
- Orientación de las superficies.

La tabla inferior muestra la geometría equivalente.

**Tabla D.19. Geometría equivalente.**

Ítem	Unidad	Muros	Ventana Norte	Ventana Sur	Ventana Este	Ventana Oeste	Puerta Este	Puerta Sur
Alto equivalente	m	3	1.8	1.8	1.8	1.8	2.1	2.1
Largo equivalente x ancho	m	44x65	22	15	43	11	3.2	1.8

Fuente: elaboración propia.

La tabla inferior muestra los valores de transmitancia térmica utilizados.

Es importante que este edificio tiene aislación térmica en su envolvente, según información levantada en terreno. Por lo que se considera, este como línea base. La situación mejorada se resume en reducir el nivel de infiltraciones de la envolvente, de 15 RHA n50 a 7,1 RHA n50.

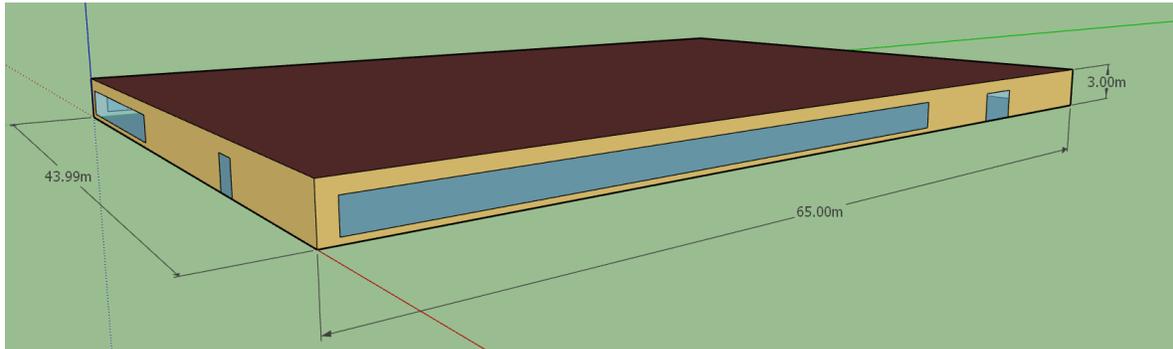
**Tabla D.20. Transmitancia térmica (U-Factor) – Línea base**

Solución constructiva	Línea base U-Factor [W/m <sup>2</sup> -C]
Muros	0.261
Techumbre	0.263
Ventanas	3,61
Puerta	5,978
Piso	Adiabático

Nota: Adiabático es decir que no intercambia calor con su exterior.

La figura inferior representa el modelo térmico del edificio.

Figura D.13. Modelo térmico de Liceo Austral Lord Cochrane.



Nota: Un modelo térmico no es un modelo geométrico, el primero tiene por objetivo representar un volumen de aire que es sometido a diferentes flujos de calor debido a variaciones de temperatura exterior e interior. Mientras que el segundo tiene por objetivo representar la geometría de un cuerpo.

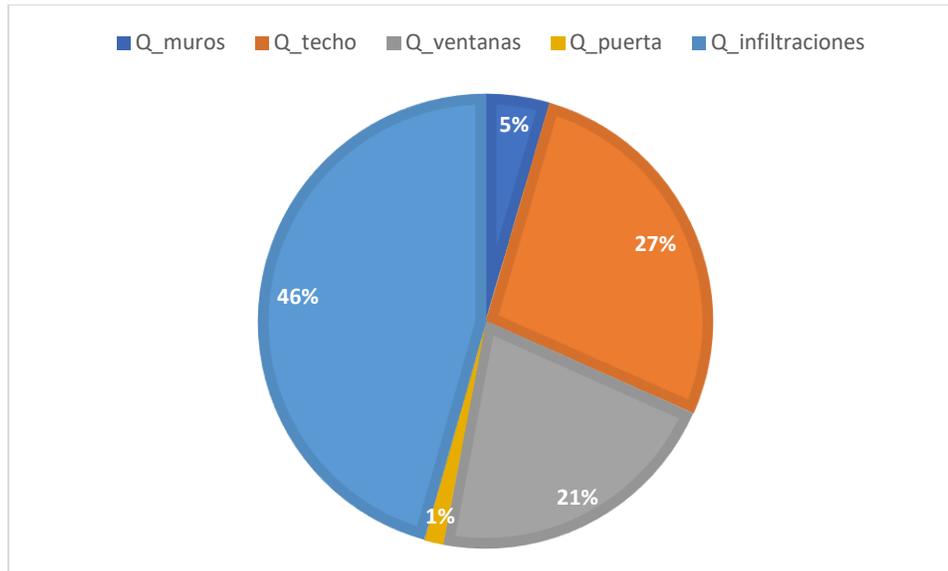
## Resultados

Se procedió a realizar una simulación dinámica por un periodo de un año para los siguientes escenarios:

- Línea base: condiciones actuales de la envolvente térmica del edificio e infiltraciones 15RAH n50 equivalentes a 1,54 RAH n4.
- Situación Mejorada: condiciones después de reacondicionar la envolvente bajo los estándares del PDA de Coyhaique, más implementación de criterio de hermeticidad 7,1 RAH n50 equivalentes a 0,73RAH n4.

Este edificio posee aislación térmica en su envolvente térmica, por lo que las pérdidas de calor por elemento constructivo, puede llegar a representar un 54% de las pérdidas totales. En particular, 27% pérdidas de calor a través del techo, muros 5%, ventanas 21%, puerta menos de un 1%, finalmente infiltraciones 46%, ver figura inferior.

Figura D.14. Perdidas de calor por transferencia e infiltraciones



Fuente: elaboración propia.

Nota: Demanda incluye energía térmica (calefacción y refrigeración).

La tabla inferior muestra los resultados de la comparación de la línea base vs situación mejorada. El edificio demanda anualmente casi 664 MWh de energía térmica, es decir unos 233 kWh/m<sup>2</sup> anuales. El relativo buen desempeño térmico de este edificio es debido a la presencia de aislación térmica en la envolvente térmica, sin embargo, el edificio posee muy deficiente hermeticidad, con un 46% de pérdida de calor, ver figura inferior. De reacondicionar térmicamente la envolvente térmica en base a los estándares del PDA de Coyhaique, además de mejorar la hermeticidad de la misma, se podría alcanzar los 128 kWh/m<sup>2</sup>, esto significaría ahorrar hasta un 45% de energía térmica, con el consecuente ahorro de combustible anual.

Tabla D.21. Comparación línea base vs situación mejorada.

Ítem	Línea base		Situación mejorada		Ahorro (%)
	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	
<b>Demanda</b>	664	233	366	12	45%

Fuente: elaboración propia.

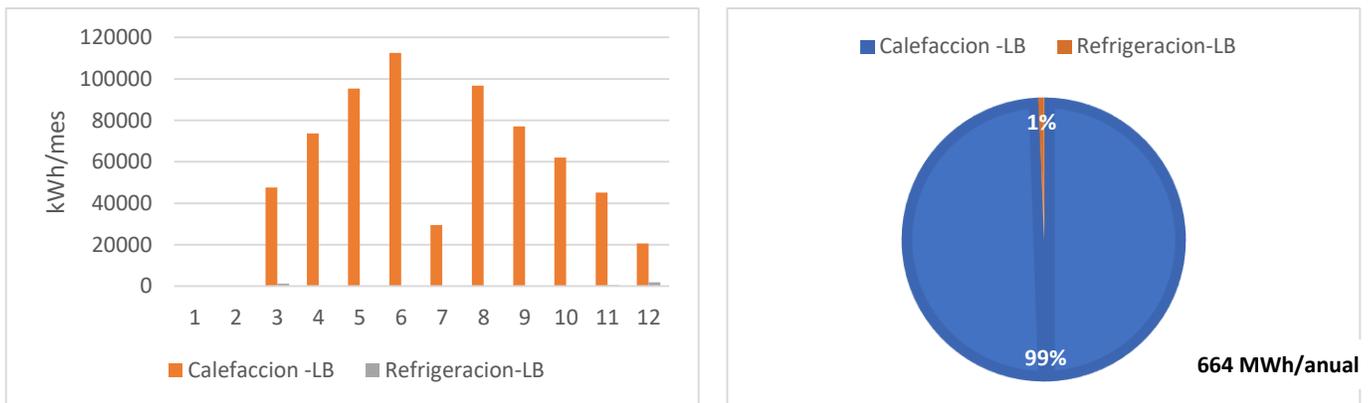
Nota: Demanda incluye energía térmica (calefacción y refrigeración).

Las figuras inferiores muestran los perfiles de consumo térmico mensuales para la línea base y la situación mejorada. Es posible evidenciar el impacto del mejoramiento de la hermeticidad y

componentes de la envolvente térmica del edificio, así el edificio ahorraría hasta un 45% de energía anualmente.

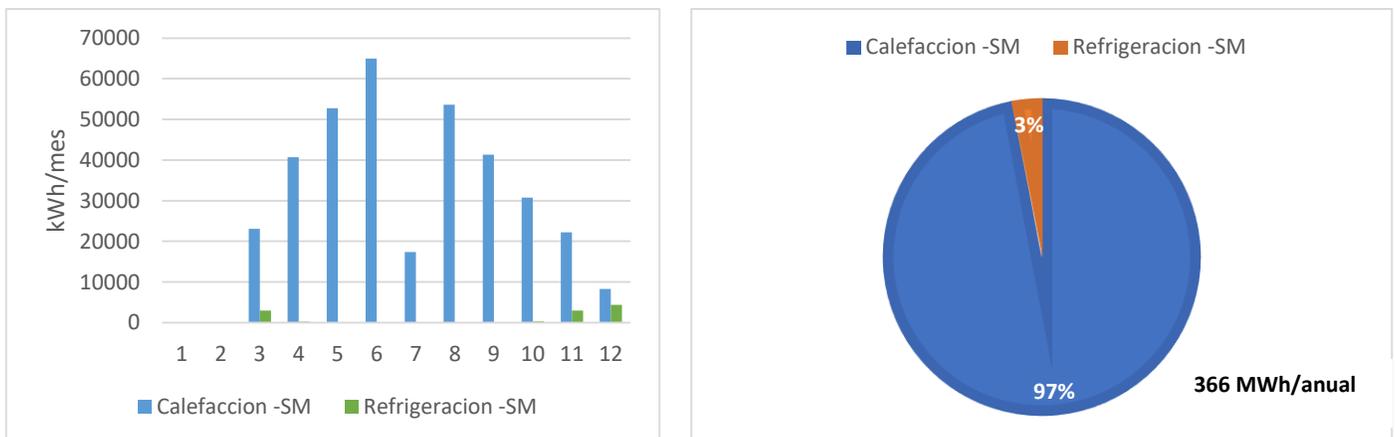
Además, cabe destacar que para cumplir con el confort térmico propuesto (termostato set point a 21-24 grados), el edificio debe balancear las pérdidas de calor aun durante los meses de invierno e incluso verano. También cabe destacar que las medidas de mejora propuesta no afectarían significativamente la demanda de refrigeración del edificio pasando de un 1% de la demanda total a un 3%. Finalmente, cabe indicar que enero, febrero y parte de julio, son meses de vacaciones por lo que la demanda térmica es considerada cero para este mes.

**Figura D.15. Perfiles de demanda - Línea base y porcentajes de calefacción vs refrigeración**



Nota: LB = Línea base  
Fuente elaboración propia.

**Figura D.16. Perfiles de demanda - Situación mejorada y porcentajes de calefacción vs refrigeración**



Nota: SM = situación Mejorada.  
Fuente elaboración propia.

## Escuela Tte. Hernán Merino Correa

La tabla inferior muestra la dirección y coordenadas del edificio.

Tabla D.22. Ubicación.

Nombre	Dirección	Latitud	Longitud	Uso Edificación
Escuela Tte. Hernán Merino Correa	Teniente Merino 310	-47.25292	-72.57293	Educativa

Fuente: elaboración propia.

### Caracterización de la envolvente térmica

- **Este edificio presenta estándares térmicos en muro y ventanas, excluyendo, por ejemplo el complejo de techumbre (solo 22 mm de aislación térmica).** El valor de transmitancia térmica de techumbre se encuentra muy por debajo de los estándares recomendables.
- **No se cuenta con especificaciones técnicas de los proyectos,** por lo cual se ha tenido que asumir ciertas calidades de conductividad de los materiales de la envolvente en base a la Norma Chilena 853, NCh 853, 2007 y Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, ED11 2014, ver Anexo D.

Figura D.17. Escuela Tte. Hernán Merino Correa



Fuente: Foto <https://www.facebook.com/CGPACochrane/>

Nota: Este edificio cuenta 2 niveles, el área acondicionada corresponde a aprox. 4.472 m<sup>2</sup>.

La tabla inferior describe los principales componentes del edificio.

**Tabla D.23. Descripción general.**

Tipo	Descripción	Observaciones
<b>Estructura soportante de muros</b>	Estructura de dos pisos, principalmente de hormigón armado, con estuco de revestimiento y Fibrocemento tipo northway. Tabiques interiores de acero estructural galvanizado. Revestido con yeso cartón y terciado ranurado, según zonas húmedas o secas. Posee envolvente térmica. Muros exteriores con poliestireno expandido. En tabiques interiores de acero galvanizado tiene lana mineral como aislación	Con aislación.
<b>Estructura de techumbre</b>	Estructura de cerchas metálicas. Cubierta de acero galvanizado pre pintado.	No se evidencia la presencia de aislante térmico.
<b>Piso</b>	Radier de hormigón, y losa de hormigón, revestidos con cerámica y vinílicos.	Sin aislación.
<b>Ventanas y puertas</b>	Puertas exteriores y ventanas de Aluminio termopanel y PVC. Puertas interiores de maciza	Con aislación.
<b>Criterios de Hermeticidad</b>	No hay información.	
<b>Estado general de conservación</b>	Regular	Se observa que el edificio en una regular condición salvo la falta de aislación térmica en el techo.
<b>Equipo calefacción</b>	1 caldera a leña, marca KEWANEE. Potencia 350 kW aprox. Instalación 2002.	Radiadores al interior del Establecimiento, excepto en gimnasio.

Fuente: Elaboración propia en base a información levantada por el mandante.

### Consideraciones

La tabla inferior muestra las principales consideraciones para determinar la carga interna y el perfil de uso del edificio.

**Tabla D.24. Carga internas y horarios de uso.**

Ítem	Unidad	Uso Semana	Uso fin de semana
<b>Personas</b>	280	08.00-17.40	NA
<b>Actividad</b>	216 W/persona	08.00-17.40	NA
<b>Termostato set points</b>	21-24 C (calefacción -refrigeración)	08.00-17.40	NA

Notas: Actividad de una persona cargando y descargando (en movimiento) corresponde a 216 W/persona, fuente Energy plus. <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-8/input-output-reference/group-internal-gains-people-lights-other.html#people>. Se consideró que el edificio se encuentra ocupado en un 90% durante la semana.

La tabla inferior muestra los principales inputs al modelo respecto a sistemas HVAC e infiltraciones del edificio.

Tabla D.25. Sistema HVAC.

Ítem	Unidad	Uso Semana	Uso fin de semana
Termostato set points	21-24 C (calefacción -refrigeración)	08.00-17.40	NA
Infiltraciones	15 RAH	08.00-17.40	NA
Ventilación	0,0025 m <sup>3</sup> /s persona	08.00-17.40	NA

Notas: Infiltraciones N50, se usó como referencia 15 RAH (equivalentes a 1,54 RAH en N4), promedio de infiltraciones para la ciudad de Cochrane. Cabe mencionar que edificaciones en la ciudad de Cochrane son muy sensibles a las infiltraciones, siendo la 2da capital provincial más sensible en el país, GDi 5.215 (C día/año). Ventilación, se considera ventilación natural de acuerdo a los caudales de ventilación mínimos exigidos para edificios de oficinas 2,5 litros/s persona o 0,3 litros/s m<sup>2</sup>.

Fuente: Manual Hermeticidad al Aire de Edificaciones - Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

### Geometría equivalente

Debido a la complejidad de una simulación dinámica se optó por realizar una simplificación de la geometría considerando geometría de la zona térmica equivalente. Básicamente se consideró:

- Áreas acondicionadas del primer y segundo piso (4.472 m<sup>2</sup> en total).
- Alturas.
- Superficies opacas (puertas).
- Superficies translúcidas (ventanas).
- Orientación de las superficies.

La tabla inferior muestra la geometría equivalente.

Tabla D.26. Geometría equivalente.

Ítem	Unidad	Muros	Ventana Norte	Ventana Sur	Ventana Este	Ventana Oeste	Puerta norte	Puerta Sur
Alto equivalente	m	3	1.8	1.8	1.8	1.8	2.1	2.1
Largo equivalente x ancho	m	44x102	37	15	68	17	4	5

Fuente: elaboración propia.

La tabla inferior muestra los valores de transmitancia térmica utilizados.

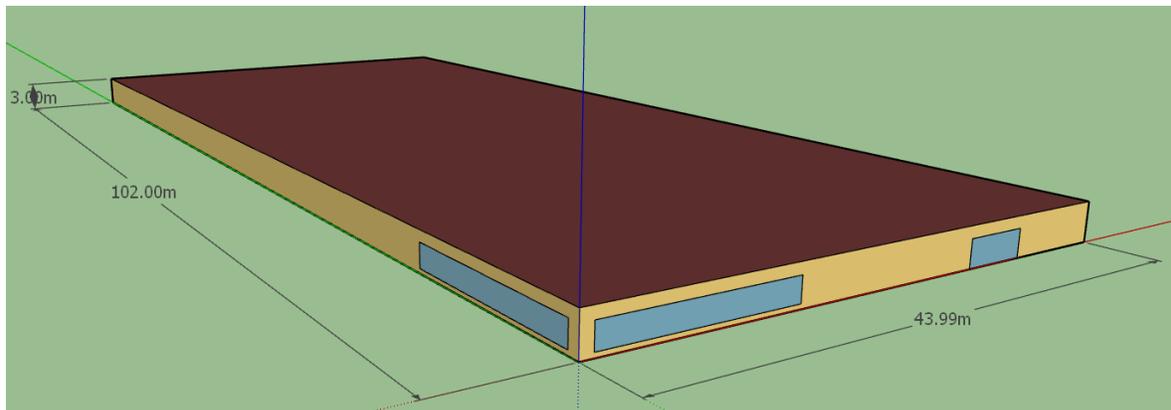
Tabla D.27. Transmitancia térmica (U-Factor) - línea base y situación mejorada

Solución constructiva	Línea base-U-Factor [W/m <sup>2</sup> -C]	Situación mejorada-U-Factor [W/m <sup>2</sup> -C]
Muros	0,319	0,261
Techumbre	1,121	0,215
Ventanas	3,61	3,61
Puerta	5,978	5,978
Piso	Adiabático	Adiabático

Nota: Adiabático es decir que no intercambia calor con su exterior.

La figura inferior representa el modelo térmico del edificio.

Figura D.18. Modelo térmico de Escuela Tte. Hernán Merino Correa



Nota: Un modelo térmico no es un modelo geométrico, el primero tiene por objetivo representar un volumen de aire que es sometido a diferentes flujos de calor debido a variaciones de temperatura exterior e interior. Mientras que el segundo tiene por objetivo representar la geometría de un cuerpo.

## Resultados

Se procedió a realizar una simulación dinámica por un periodo de un año para los siguientes escenarios:

- Línea base: condiciones actuales de la envolvente térmica del edificio e infiltraciones 15RAH n50 equivalentes a 1,54 RAH n4.
- Situación Mejorada: condiciones después de reacondicionar la envolvente bajo los estándares del PDA de Coyhaique, más implementación de criterio de hermeticidad 7,1 RAH n50 equivalentes a 0,73 RAH n4.

La tabla inferior muestra los resultados de la comparación de la línea base vs situación mejorada. El edificio demanda anualmente casi 1.373 MWh de energía térmica, es decir unos 307 kWh/m<sup>2</sup>

anuales. El bajo desempeño térmico de este edificio es debido a la mala calidad de la envolvente térmica y muy deficiente hermeticidad, **en particular por falta de aislación térmica del complejo techumbre (solamente 20 mm de espesor)**, con un 62% de pérdida de calor, ver figura inferior. De reacondicionar térmicamente la envolvente térmica en base a los estándares del PDA de Coyhaique, además de mejorar la hermeticidad de la misma, se podría alcanzar los 98 kWh/m<sup>2</sup>, esto significaría ahorrar hasta un 68% de energía térmica, con el consecuente ahorro de combustible anual.

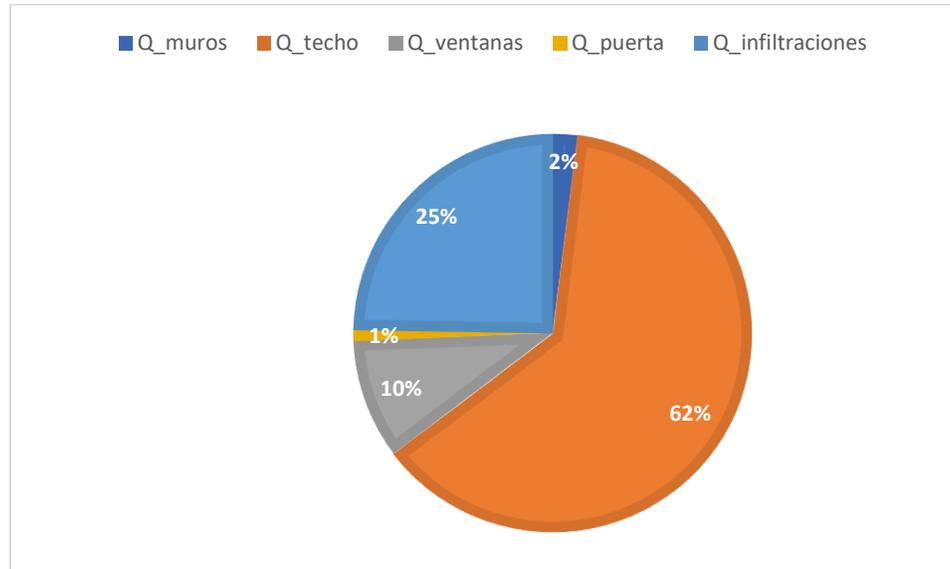
**Tabla D.28. Comparación línea base vs situación mejorada.**

Ítem	Línea base		Situación mejorada		Ahorro (%)
	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	
<b>Demanda</b>	1.373	307	440	98	68%

Fuente: elaboración propia.

Nota: Demanda incluye energía térmica (calefacción y refrigeración).

**Figura D.19. Perdidas de calor por transferencia e infiltraciones**



Fuente: elaboración propia.

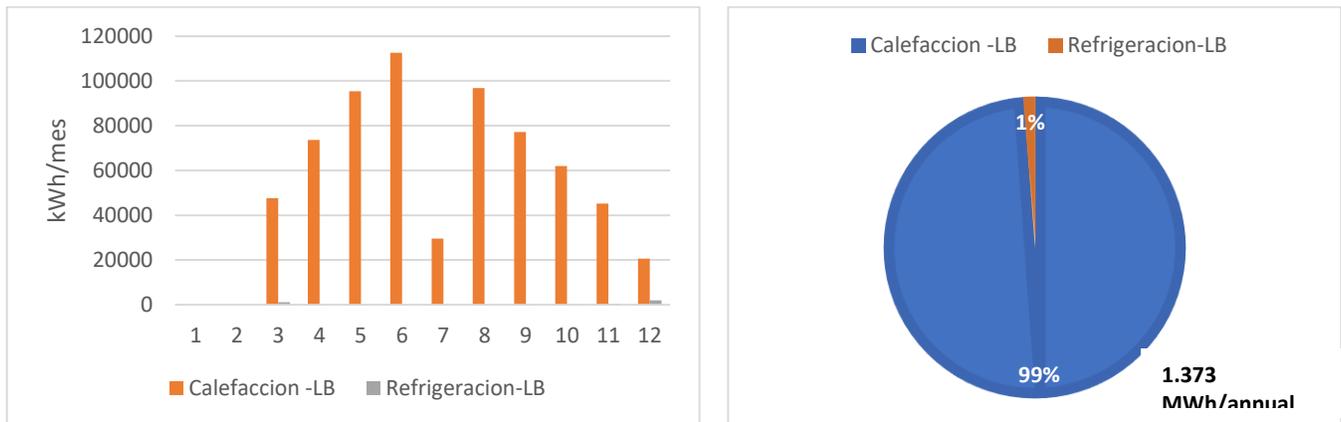
Nota: Demanda incluye energía térmica (calefacción y refrigeración).

Las figuras inferiores muestran los perfiles de consumo térmico mensuales para la línea base y la situación mejorada. Es posible evidenciar el impacto del mejoramiento de la hermeticidad y componentes de la envolvente térmica del edificio, aun cuando el edificio se sobrecalienta debido a

la implementación de las medidas propuestas durante los meses de verano, el edificio ahorraría hasta un 68% de energía anualmente.

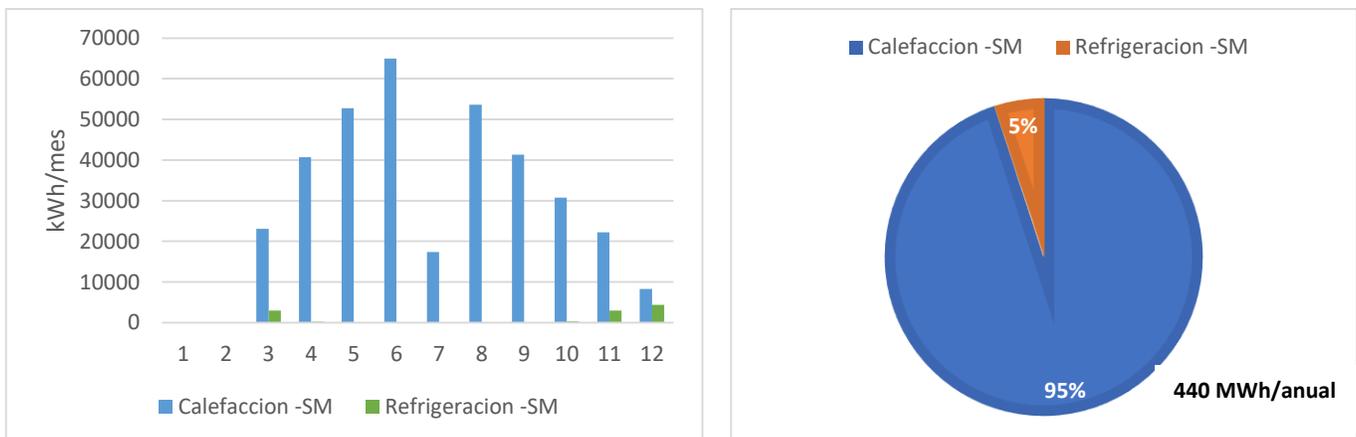
Además, cabe destacar que para cumplir con el confort térmico propuesto (termostato set point a 21-24 grados), el edificio debe balancear las pérdidas de calor durante los meses de invierno e incluso verano. También cabe destacar que las medidas de mejora propuesta, afectarían la demanda de refrigeración del edificio pasando de un 1% de la demanda total a un 5%. Finalmente, cabe indicar que enero, febrero y parte de julio, son meses de vacaciones por lo que la demanda térmica es considerada cero para este mes.

**Figura D.20. Perfiles de demanda - Línea base y porcentajes de calefacción vs refrigeración**



Nota: LB = Línea base.  
Fuente elaboración propia.

**Figura D.21. Perfiles de demanda - Situación mejorada y porcentajes de calefacción vs refrigeración**



Nota: SM = situación Mejorada.  
Fuente elaboración propia.



## Resumen

La tabla inferior resume la demandas y consumos estimados en base a 2 metodologías distintas para los 5 edificios estudiados.

- Metodología 1 (M1): Generación de la línea en base a simulación dinámica de los edificios, (metodología descrita anteriormente).
- Metodología 2 (M2): Generación de línea base a consumo de combustibles reportados en cada caso.

La diferencia en la estimación de demanda anual es significativa, variando desde 107% (municipalidad) hasta un -16% (jardín infantil) mayor cuando se usa la metodología 1 con respecto a la metodología 2. Estas diferencias se pueden explicar debido a diferentes supuestos:

- M1 considera termostato seteado entre 21-24C para mantener la temperatura de confort todo el tiempo de uso. Mientras que M2 no considera este factor, por lo que los usuarios se podrían calefaccionar a una temperatura inferior a 21 C, es decir no cumpliendo el mismo estándar de confort térmico. M1 indica cual es la demanda térmica de los edificios para cumplir un estándar de confort térmico óptimo, mientras que M2 solo indica el combustible usado en cada caso.
- Otro parámetro crítico, es el nivel de infiltraciones, para mayor información, ver análisis de sensibilidad presentado más abajo.

Adicionalmente, en el caso línea base simulado, en base a los antecedentes reportados, se asume que no existe aislación térmica en techumbres excepto para el jardín y liceo según lo que se pudo constatar en terreno, la escuela posee aislación térmica de techo muy deficiente (20 mm).

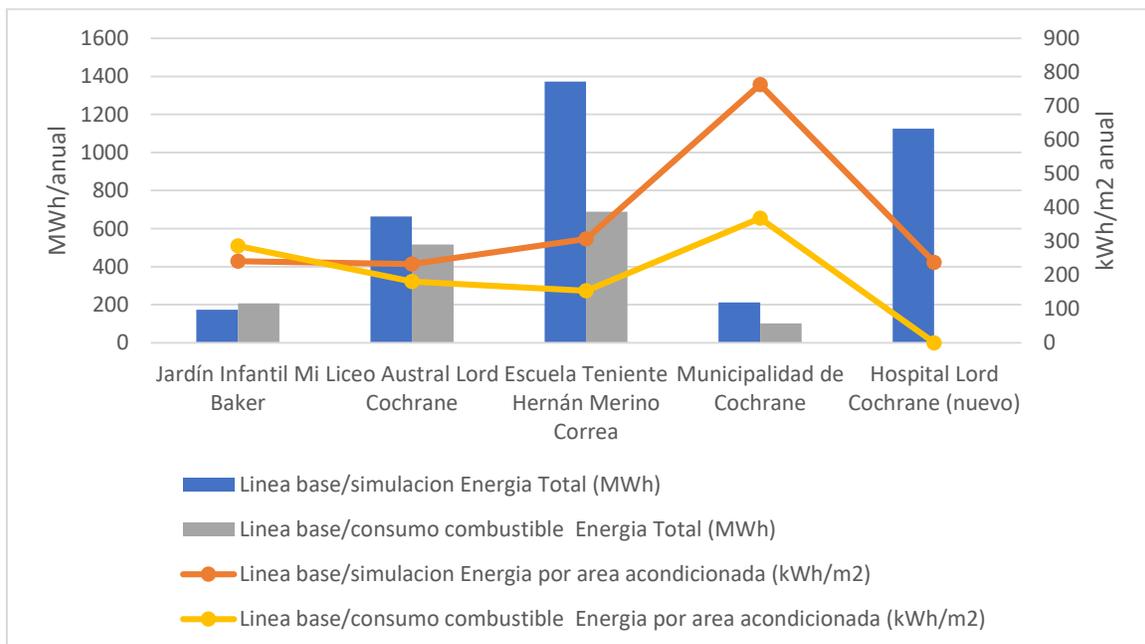
**Tabla D.29. Comparación demanda térmica anual - demanda (línea base) vs consumo reportado**

Calefacción + Refrigeración	Demanda en base a simulación dinámica (Línea base)		Consumo energético en base a consumo de combustibles reportados		Diferencia
	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	
Jardín Infantil Mi Baker	174	241	207	287	-16%
Liceo Austral Lord Cochrane	664	233	517	181	29%
Escuela teniente Hernán Merino Correa	1.373	307	689	154	99%
Municipalidad de Cochrane	211	763	102	368	107%
Hospital Lord Cochrane (nuevo)	1.126	238	n/a	n/a	n/a

Nota: Para el cálculo del consumo energético de edificios, se consideró lenga húmeda (35% de humedad), poder calorífico inferior 1.491 kWh/m<sup>3</sup>st. Respecto a la eficiencia de las calderas a biomasa, se consideró un 77% para todos los edificios excluyendo al edificio municipal donde se consideró un 60% de eficiencia,

Fuente elaboración propia en base a Tabla de Conversión de Energía a Leña del MINER, [https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/R\\_13.pdf](https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/08/R_13.pdf), Regulation: Ecodesign regulation for solid fuel boilers (EU) 2015/1189, Pag. 8 y 15". <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R1189&from=EN> y "MEDICIÓN DE MATERIAL PARTICULADO, MONÓXIDO DE CARBONO Y EFICIENCIA TÉRMICA PARA DIFERENTES ESTUFAS DEL MERCADO NACIONAL", UNIVERSIDAD DE CONCEPCION, CENTRO EULA-CHILE.

**Figura D.22. Comparación demanda térmica anual - demanda (línea base) vs consumo reportado**



Fuente: Elaboración propia.

La demanda térmica debido al consumo de agua caliente sanitaria se muestra en la tabla inferior.

**Tabla D.30. Demanda térmica agua caliente sanitaria**

ACS	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )
Jardín Infantil Mi Baker	23	32
Liceo Austral Lord Cochrane	57	20
Escuela teniente Hernán Merino Correa	122	27
Municipalidad de Cochrane	0,5	2
Hospital Lord Cochrane (nuevo)	Incl. en valor de calefacción	Incl. en valor de calefacción

Nota: Para el caso del Hospital de Cochrane "Informe Proyecto Eficiencia Energética y Sustentabilidad del Nuevo Hospital de Cochrane". No reporta demanda específica de ACS, por lo que se asume que está ya contenida en la demanda de calefacción.

Fuente elaboración propia

La tabla inferior compara las potencias estimadas vs las potencias instaladas en los edificios, la mayor diferencia la presenta la Escuela Teniente Merino con un 41% de diferencia, no se posee información con respecto a las potencias instaladas en la municipalidad y hospital.

**Tabla D.31. Potencia estimada vs potencia instalada (reportada)**

	Potencia estimada (kW)	Potencia instalada (kW)	Diferencia estimada vs instalada
Jardín Infantil Mi Baker	25	100	-75%
Liceo Austral Lord Cochrane	67	300	-78%
Escuela teniente Hernán Merino Correa	193	350	-45%
Municipalidad de Cochrane	50	n/a	n/a
Hospital Lord Cochrane (nuevo)	751	n/a	n/a

Fuente: elaboración propia.

Nota: La potencia requerida por las calderas se estimó considerando las pérdidas de calor por conducción e infiltraciones. Para estimar las pérdidas de calor por conducción se usaron los siguientes parámetros; temperatura interna de los edificios = 21C, temperatura externa = -3 C, f1=1. Para las perdidas por infiltraciones se consideró; 1,54 RAH, Calor específico del aire =1.004 J/kg-K y f2=0.287.

La tabla inferior muestra los resultados de la estimación de la demanda térmica (calefacción y enfriamiento) anual según la simulación dinámica realizada, línea base vs reacondicionamiento térmico. Se puede apreciar que la combinación de mejoras propuestas de; hermeticidad en combinación con el mejoramiento de la aislación térmica de las envolventes de los edificios. Logra reducir la demanda térmica significativamente, desde un 35 a un 72%, exceptuando el caso del hospital de Cochrane donde solamente se consideró mejoras en aislación térmica.

**Tabla D.32. Comparación demanda térmica anual - línea base vs situación**

Calefacción + Refrigeración	Línea base		Reacondicionamiento Térmico		Diferencia
	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	Energía Total (MWh)	Energía por área acondicionada (kWh/m <sup>2</sup> )	
Jardín Infantil Mi Baker	174	241	112	156	35%
Liceo Austral Lord Cochrane	664	233	366	128	45%
Escuela teniente Hernán Merino Correa	1.373	307	440	98	68%
Municipalidad de Cochrane	211	763	59	213	72%
Hospital Lord Cochrane (nuevo)	1.126	238	736	161	35%

Nota: Para el hospital de Cochrane su uso la demanda base (M2) y reacondicionamiento propuesto en el "Informe Proyecto Eficiencia Energética y Sustentabilidad del Nuevo Hospital de Cochrane".

Fuente: elaboración propia.

La energía térmica demanda total por los 5 edificios es 3.751 MWh/ anual, el promedio ponderado de demanda por unidad de superficie acondicionada es 294 kWh/m<sup>2</sup> anual.

**Tabla D.33. Resumen energía térmica demanda por edificio.**

Resumen	Energía Total (MWh)
Jardín Infantil Mi Baker	197
Liceo Austral Lord Cochrane	721
Escuela Teniente Hernán Merino Correa	1.495
Municipalidad de Cochrane	212
Hospital Lord Cochrane (nuevo)	1.126
<b>Total</b>	<b>3.751</b>

Fuente: elaboración propia.

**Desde el punto de vista de la eficiencia energética, se recomienda 1) mejorar la hermeticidad ante las infiltraciones y 2) mejorar la aislación térmica de las envolventes de los edificios estudiados, pues ambas tienen un impacto significativo en el rendimiento térmico del edificio.**

## E) Costos de mantenimiento y operación de los sistemas de calefacción de edificios

Se evaluó económicamente (evaluación tecnológica) los sistemas de calefacción de las edificaciones basados en la metodología de los costos energéticos (CE), para ello se obtuvo información de los edificios estudiados, para analizar los costos anualizados de operación y mantención, identificando el tipo de equipo (caldera) y combustible utilizado, proveedores de combustibles, tipos de contrato por servicios varios y compra de combustibles. Estos costos fueron un insumo para establecer la línea base y comparar con una solución de calefacción distrital.

### Antecedentes

El estudio comprendió el análisis del funcionamiento de los sistemas de calefacción de 5 edificios públicos, cuya información relevante, para realizar el análisis de CE, fue proporcionada por las entidades públicas respectivas a través de la SEREMI del Medio Ambiente.

**Tabla E.1. Resumen de datos sistemas de calefacción edificios a estudiar.**

Edificios	Calefacción	Potencia unitaria	Consumo combustible (m <sup>3</sup> año)	Costo combustible (M\$ año)	Costo mantenimiento (M\$ año)
Hospital Lord Cochrane (nuevo)	2 calderas a leña, 2 calderas a petróleo	n/a	954	39.717	8.821
Jardín Infantil Mi Baker	1 caldera a leña	100 kW	180	7.497	600
Liceo Austral Lord Cochrane	3 calderas a leña	100 kW	450	18.743	3.600
Escuela Teniente Hernán Merino Correa	1 caldera a leña	350 kW	600	24.990	1.000
Municipalidad de Cochrane	4 estufas a leña	n/a	114	4.748	528

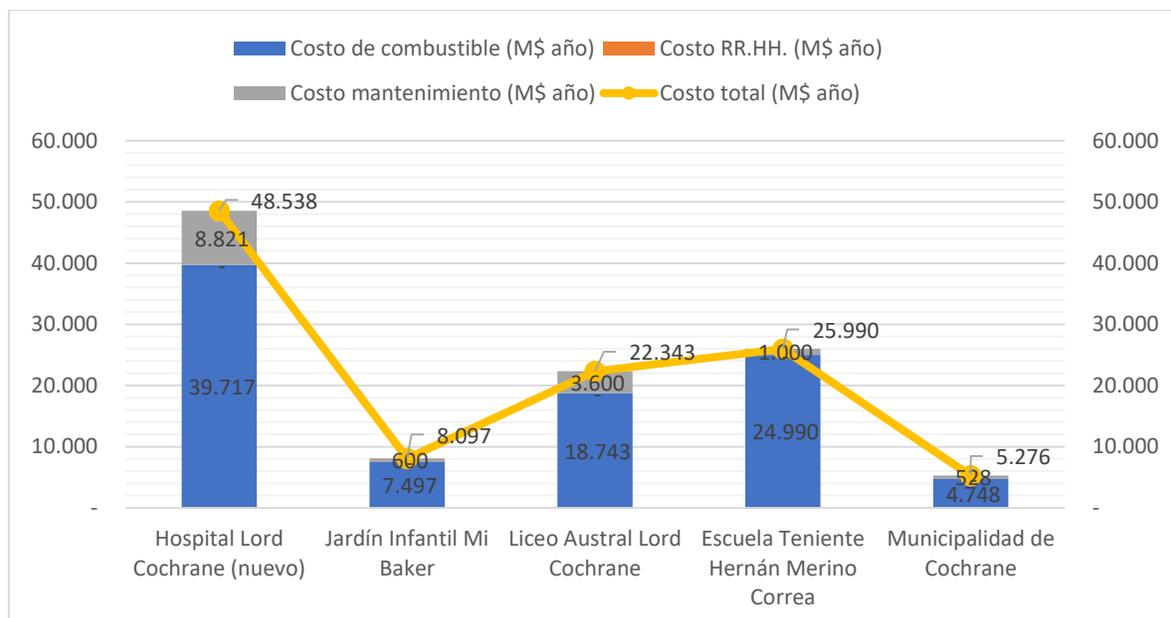
Nota: no hay información (n/a).

Fuente: datos proporcionados por el mandante.

De acuerdo a la información recopilada, se desprende la Tabla E.1 que resume los datos para cada uno de los edificios. Es importante hacer notar algunas consideraciones realizadas:

1. Consumo de combustible: los datos fueron proporcionados por el mandante. Sin embargo, para el caso del hospital nuevo, se estimó en 954 m<sup>3</sup> de leña al año, considerando que se calefacciona en su totalidad el recinto con este combustible (el recinto aún no entra en operación). La estimación fue realizada en función de la demanda, obtenida del estudio “Consultoría para el desarrollo de proyectos de arquitectura y especialidades reposición Hospital de Cochrane” y las propiedades de la leña.
2. Costo del combustible: según los datos proporcionados, el combustible, en este caso la leña, tiene un valor de \$35.000 el m<sup>3</sup>st más IVA.
3. Costo del mantenimiento: los datos fueron proporcionados por el mandante. Para el caso del hospital nuevo, fue obtenido del estudio “Consultoría para el desarrollo de proyectos de arquitectura y especialidades reposición Hospital de Cochrane”. Cabe destacar que la mayoría de estos costos están incluidos en otros servicios de prestaciones varias que hacen los auxiliares de servicios, por lo que es muy difícil de calcular o estimar.
4. Contratos existentes de provisión de servicios o compra de energéticos: no se proporcionó ningún tipo de información respecto de contratos, por lo tanto, se dejó fuera del alcance bajo mutuo acuerdo con el mandante.

Gráfico E.1. Costos anuales de los sistemas actuales de calefacción y ACS.



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en el Gráfico E.1, de acuerdo a los datos proporcionados, el mayor costo asociado corresponde a costos operacionales, en nuestro caso, al combustible. En la Escuela



Teniente Hernán Merino Correa representa el 94% del costo total (mayor valor) y en Hospital Lord Cochrane (nuevo) representa el 73% (menor valor).

## Definición y cálculo de CE

El análisis de costo nivelado de energía permitió establecer una base en función del combustible que utilizan los sistemas actuales. Esta metodología requiere conocer los costos de operación y mantenimiento (fijos y variables) de cada uno de los edificios, asociados a la solución actual de calefacción y además la demanda de energía de calefacción total requerida por la infraestructura. Por lo general la metodología CE se usa para calcular cuánto cuesta generar un kWh de energía eléctrica, por lo que se requiere conocer además la inversión, el horizonte del proyecto y la tasa de descuento.

El valor obtenido permitirá realizar una comparación en una unidad común, que refleja cuánto cuesta generar una unidad de energía de calefacción dependiendo del tipo de solución tecnológica.

$$CE_{Simplificado} = \frac{\text{Costos de operación} + \text{Costos de mantenimiento}}{\text{Demanda de calefacción}} \left[ \frac{\$}{kWh} \right]$$

Para nuestro caso de estudio el costo de energía nivelado se expresará en valores anuales, y lo llamaremos LCOE simplificado, pues sólo reflejará los costos de operación y mantenimiento.

### Consideraciones

Debido a la escasez en la información requerida, se debieron realizar algunas hipótesis y consideraciones a modo de simplificar el cálculo de CE.

1. Los costos proporcionados corresponden a valores anuales de los sistemas actuales implementados.
2. Para el caso de los costos de operación sólo se consideró el costo del combustible, ya que el costo del RR.HH. asociado al funcionamiento de las calderas (operadores) y otros costos tales como de energía eléctrica asociada a equipos secundarios, no son conocidos.
3. La demanda de energía de calefacción se define asumiendo que los volúmenes de combustible dan confort a los edificios, esto es, los requerimientos de energía de calefacción de cada edificio son suplidos por el volumen de combustible utilizado. Salvo el

caso del hospital nuevo, el cual fue obtenido del estudio “Consultoría para el desarrollo de proyectos de arquitectura y especialidades reposición Hospital de Cochrane”.

**Tabla E.2. Parámetros para la estimación de la demanda térmica.**

		Hospital Lord Cochrane (nuevo)	Jardín Infantil Mi Baker	Liceo Austral Lord Cochrane	Escuela Teniente Hernán Merino Correa	Municipalidad de Cochrane
<b>Datos</b>	<b>Unidad</b>					
Consumo combustible	m <sup>3</sup> st/año	954	180	450	600	114
Área	m <sup>2</sup>	4.600	721	2.850	4.472	277
PCI	kWh/m <sup>3</sup> st	1.491	1.491	1.491	1.491	1.491
Eficiencia caldera/estufa	%	77%	77%	77%	77%	60%
<b>Estimación</b>	<b>Unidad</b>					
Calor combustible	kWh/año	1.421.818	268.380	670.950	894.600	169.974
Demanda térmica	kWh/año	1.094.800	206.651	516.632	688.842	101.984
Demanda térmica por superficie	kWh/m <sup>2</sup> año	238	287	181	154	368

Nota: PCI =Poder calorífico inferior de lenga húmeda (35% humedad).

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla E.2 se resumen los parámetros que definen la demanda térmica para cada edificio. Como se explicó anteriormente, asumiendo como hipótesis que la demanda está dada por el consumo de combustible, los parámetros de entrada para el cálculo de la demanda son las propiedades de la leña y el flujo de combustible para cada edificio.

### Cálculo de CE

Utilizando la metodología definida y de acuerdo a las demandas definidas por el volumen de combustible, se obtienen los costos nivelados de energía para cada edificio.

Tabla E.3. Costo de energía (CE).

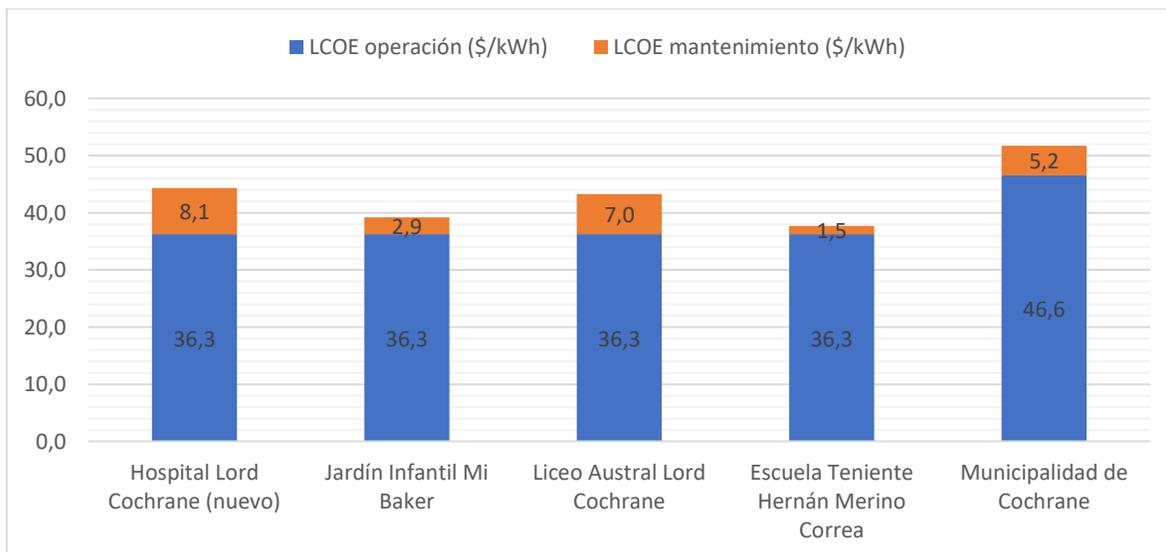
Instalaciones	Demanda (kWh/año)	CE operación (\$/kWh)	CE mantenimiento (\$/kWh)	CE base (\$/kWh)
Hospital Lord Cochrane (nuevo)	1.094.800	36,3	8,1	44,3
Jardín Infantil Mi Baker	206.653	36,3	2,9	39,2
Liceo Austral Lord Cochrane	516.632	36,3	7,0	43,2
Escuela Teniente Hernán Merino Correa	688.842	36,3	1,5	37,7
Municipalidad de Cochrane	101.984	46,6	5,2	51,7

Fuente: elaboración propia.

La mayor incidencia en el cálculo del CE la tiene el costo del combustible, en relación al costo de mantenimiento anual que es relativamente bajo.

Para el caso de los 5 edificios estudiados, el CE oscila entre los 37,7 y 51,7 \$/kWh, según las alternativas hoy en día implementadas en cada instalación.

Gráfico E.2. Costos de energía de los sistemas actuales de calefacción y ACS.



Fuente: elaboración propia.



## Comentarios

- Al no tener información detallada de los costos de operación, salvo el combustible, este ítem es muy sesgado, pues no refleja los efectos de otras variables. Sin embargo, el estudio sugiere que en definitiva el precio y volumen de combustible son el determinante en el cálculo de CE.
- Llama notablemente la atención que de acuerdo al estudio “Consultoría para el desarrollo de proyectos de arquitectura y especialidades reposición Hospital de Cochrane” la matriz energética en la zona de estudio para el caso de la leña en el nuevo hospital fue definida en 20,1 \$/kWh, y el estudio aquí realizado da un valor de 44,3 \$/kWh.
- En el estudio “Consultoría para el desarrollo de proyectos de arquitectura y especialidades reposición Hospital de Cochrane” se presenta un costo de operación de \$14.187.444, lo que es menor incluso al costo de operación presentado por el Liceo Austral Lord Cochrane (edificio con requerimientos menos críticos que un hospital). Sin embargo, los valores obtenidos en este estudio para los 5 edificios están dentro del mismo orden.



## F) Demanda térmica de viviendas – CEV

Con motivo de evaluar las condiciones térmicas de las viviendas de la ciudad de Cochrane, se utiliza la herramienta de Calificación Energética de Viviendas “CEV” del MINVU. El objetivo de esta herramienta es conocer el desempeño energético que poseen casas o departamentos y en base a eso calificarlas. La herramienta consiste básicamente en tres planillas Excel, las que están programadas para calcular las diversas formas de intercambio de energías de las viviendas entre su interior y el exterior (flujos de calor, radiación, iluminación, infiltraciones de aire, etc).

En particular, en la primera planilla Excel presenta la evaluación y cálculo de toda la envolvente de la edificación. El método utilizado resulta particularmente útil para los fines de este proyecto, por lo que será utilizado como base para los cálculos de transmitancia.

La metodología de cálculo se explica en el Anexo F.

### Cálculo de transmitancias térmicas

La transmitancia térmica de los elementos opacos de la envolvente (muros, techos y pisos ventilados) serán calculados como se recomienda en la NCh 853 de 2007 en base a los fundamentos de transferencia de calor. Donde la transmitancia térmica “U” (flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento) está definida de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}} \quad \dots (2)$$

$R_{si}$  y  $R_{se}$  corresponden a la resistencia superficial interior y resistencia superficial exterior respectivamente. “e” corresponde al espesor del material que compone el elemento y  $\lambda$  corresponde a la conductividad térmica del material.  $\frac{e}{\lambda}$  representa la resistencia térmica del material componente.

Dado que en general, los elementos de la envolvente están formados por varias “capas” de diferentes materiales constructivos, (revestimiento, aislación, tabiquería, recubrimiento, cámaras de aire, etc.) se deben sumar cada una de las resistencias que aporta cada capa de material, como lo indica la ecuación anterior.

Los valores de  $R_{si}$  y  $R_{se}$  dependen de la naturaleza de la dirección del flujo de calor que se está considerando, por lo que varía si se calcula un muro, un techo o un piso ventilado, como se puede observar en la figura F.1. También varía dependiendo si el aire exterior se encuentra quieto o en movimiento.

Figura F.1. Resistencia térmica de superficie dependiendo del sentido del flujo.

Resistencias térmicas de superficie en m <sup>2</sup> x K/W							
Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$	$R_{si}$	$R_{se}$	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Fuente: Manual CEV 2019 del MINVU.

Además, los elementos constructivos pueden no ser homogéneos en su composición periférica. Por ejemplo, en los muros de tabiquería de madera, donde las tablas que componen los tabiques ocupan sectores específicos del área del muro separadas cierta distancia unas de otras. Se tiene que el flujo de calor presenta un valor diferente donde hay tabique y donde no. En estos casos, la forma de calcular el elemento completo (muro, techo, etc) se hace de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$U_{total} = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A} \quad \dots (3)$$

El elemento de envolvente se debe dividir en sub-elementos homogéneos linealmente (que presenten los mismos materiales componentes de manera lineal desde el interior de la vivienda hacia el exterior) y calcular de manera individual su "U".

Donde:

$U_{total}$  representa la transmitancia total del elemento (muro, techo, piso ventilado) en cuestión.

$U_i$  representa la transmitancia de cada sub-elemento en los que se dividió el elemento de envolvente

$A_i$  es el área superficial que ocupa ese sub-elemento.



A corresponde al área total del muro, techo o piso ventilado que se está calculando.

Los valores de conductividad térmica “ $\lambda$ ” de cada material será obtenido de las tablas indicadas en la NCh 835.

Existen otros procedimientos particulares a tener en cuenta, como ejemplo cuando hay cámaras de aire entre medio de los elementos de la envolvente, los que fueron debidamente informados en los procedimientos de cálculo.

## Viviendas tipo

De los planos de viviendas facilitados por el SEREMI de medio ambiente de la región de Aysén, se han considerado 4 tipologías de viviendas representativas. Dos corresponden a viviendas pos 2007, una de dos pisos y una de un piso.

En particular la vivienda pos 2007 de dos pisos corresponde al proyecto habitacional comité Nuevo Horizonte de Cochrane. El proyecto se encuentra en su fase de construcción final.

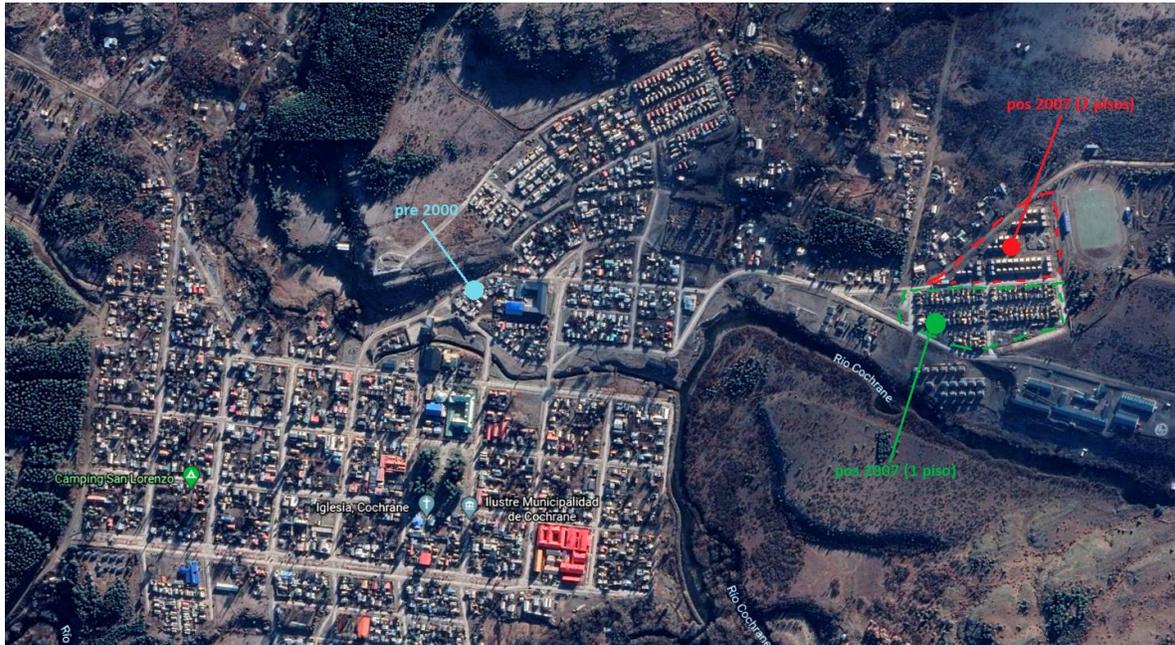
La vivienda pos 2007 de un piso corresponde al proyecto Vuelo Patagón Cochrane. Estas viviendas se encuentran ubicadas justo frente al proyecto Nuevo Horizonte mencionado anteriormente.

La tercera vivienda tipo corresponde a una vivienda construida después del año 2000 y antes del año 2007.

La cuarta vivienda tipo corresponde a una vivienda construida antes del año 2000.

Para ubicar espacialmente el tipo de viviendas, se grafica en el siguiente plano de la ciudad:

Figura F.2. Ubicación viviendas.



Fuente: elaboración propia.

De la disponibilidad de los planos facilitados, se cuenta solamente con dos planos de viviendas anteriores al año 2007. Una construida en el año 1992 y la segunda en el año 1993. Ambas corresponden a viviendas de tipo pareadas de un piso, con similares características arquitectónicas y de emplazamiento, por lo que se toma una de ellas, en particular, la del año 1993 y se modela como vivienda pre 2000.

Para evaluar la vivienda pos 2000 pre 2007, se parte de la misma construcción base que la vivienda pre 2000, pero se añade aislamiento en el techo de acuerdo a lo mencionado en los criterios de selección de viviendas tipo.

En particular, la vivienda seleccionada como base para ambos tipos queda emplazada de acuerdo a las coordenadas: lat -47,250893°; long -72,572221°.

En la tabla siguiente se resumen los detalles generales de las viviendas tipo evaluadas.

**Tabla F.1. Resumen viviendas tipo.**

Vivienda tipo	Año construcción	Plantas	Latitud	Longitud
A	Pos 2007	2 pisos	-47,250559	-72,558667
B	Pos 2007	1 piso	-47,251621	-72,560888
C	Pos 2000 - pre 2007	1 piso	-47,250893	-72,572221
D	Pre 2000	1 piso	-47,250893	-72,572221

Fuente: elaboración propia.

### Vivienda A (pos 2007 2 pisos)

#### Dimensiones

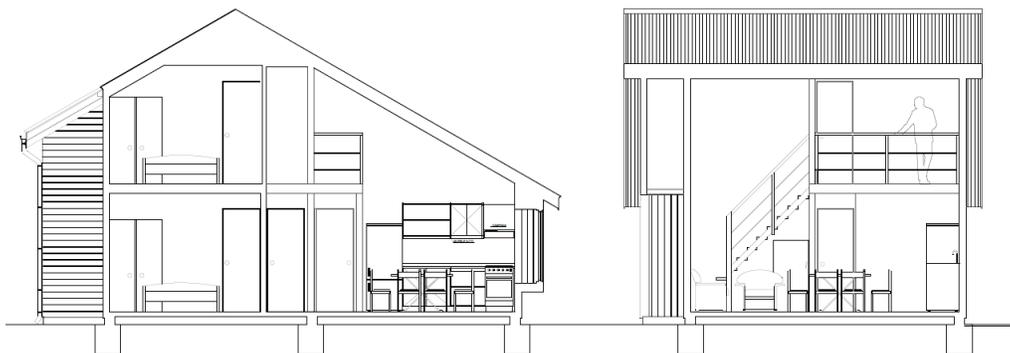
Como se puede observar en las figuras F.3 y F.4, la vivienda presenta una arquitectura compleja en cuanto a superficies y volúmenes interiores, por lo que no presenta una altura fija. De esta manera se debe buscar la altura media que mantenga la relación volumen-área calculada de los planos de acuerdo a la ecuación (1), llegándose a los valores mostrados en la tabla F.2. Las superficies se consideran como el área interior, quiere decir, como el área delimitada dentro de los muros perimetrales donde está contenido el volumen calefaccionado de la vivienda.

**Tabla F.2. Dimensiones vivienda A.**

	Área [m <sup>2</sup> ]	Altura [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Piso 1	45,8	3,19	146,2
Piso 2	22,2	2,00	44,3
Piso 3+4+..			-
Total	68,01		190,56

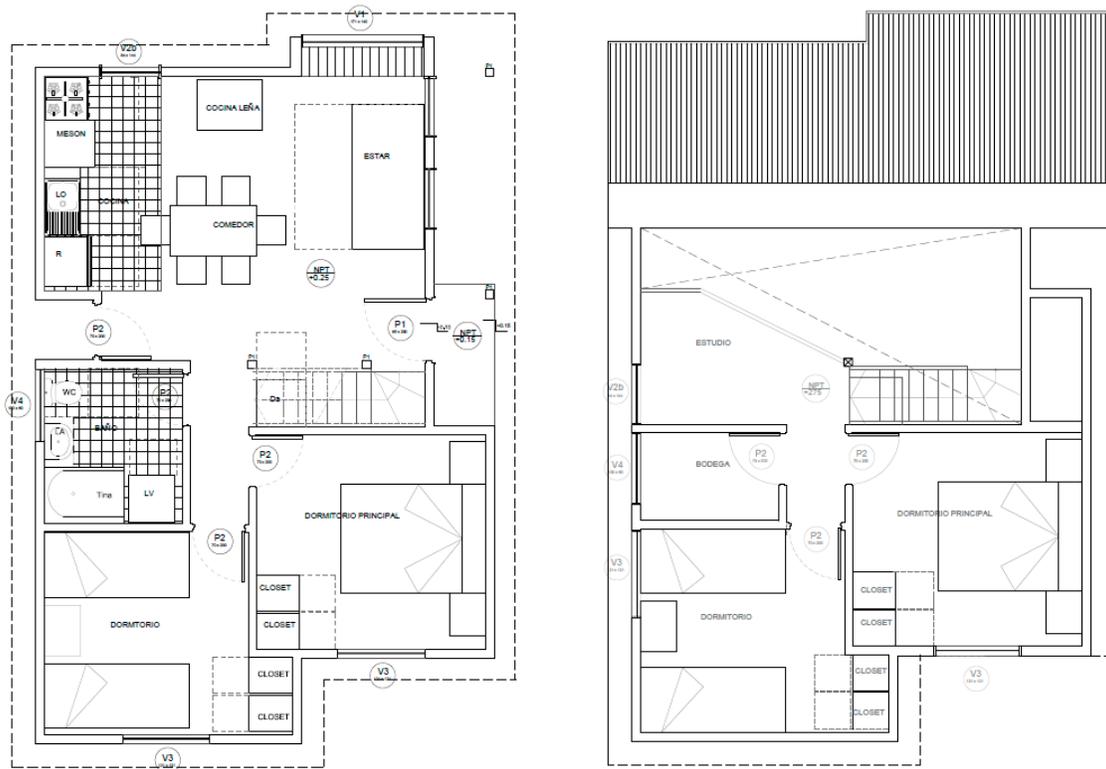
Fuente: elaboración propia.

**Figura F.3. Vivienda A, vista en corte.**



Fuente: información enviada por mandante.

Figura F.4. Vivienda A, ambas plantas.



Fuente: información enviada por mandante.

### Características térmicas de la envolvente.

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la vivienda se tiene que:

#### Muros

Los muros están hechos de tabiquería con perfiles de acero galvanizado de tipo “metalcón” separados 50 cm. En el interior del tabique existe aislación de tipo lana de vidrio de 80 mm de densidad  $12.1 \text{ kg/m}^3$ , membrana hídrica de tipo fieltro (que no se considera en los cálculos de transmitancia, de acuerdo a lo señalado en el manual de CEV).

El revestimiento exterior consiste en un panel OSB de 9,5 mm donde se tienen 2 terminaciones posibles dependiendo del muro: tinglado de pino o planchas de zinc-alum, dando 2 revestimientos exteriores distintos.

El revestimiento interior consiste en planchas de yeso-cartón de 10 mm para las zonas secas, y planchas de fibrocemento para las zonas húmedas, dando 2 tipos de muros de acuerdo al revestimiento interior.

De aquí, se tienen 4 tipos de muros distintos. Los valores de conductividad térmica de los materiales se muestran en la tabla F.3 y serán utilizados también en los cálculos posteriores.

**Tabla F.3. Conductividad térmica de los materiales utilizados.**

Material	$\lambda$ [W/mK]
Lana Vidrio	0,042
OSB	0,23
Yeso cartón	0,24
Fibrocemento	0,23
Zinc-alum	58
Acero Galvanizado	58
Tinglado Pino	0,104
Cerámico	1,75
Metalcón	58
Poliestireno expandido	0,043

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta que se tienen 4 tipos de muros diferentes de acuerdo a los materiales de revestimiento y utilizando las ecuaciones (2) y (3) se tienen los siguientes resultados:

**Tabla F.4. U de los muros de la vivienda A.**

	Muro A1	Muro A2	Muro B1	Muro B2	Muro C1	Muro C2	Muro D1	Muro D2
<b>U</b>	0,43	2,28	0,46	3,93	0,43	2,37	0,47	4,18
<b>U pond</b>	0,60		0,79		0,61		0,82	

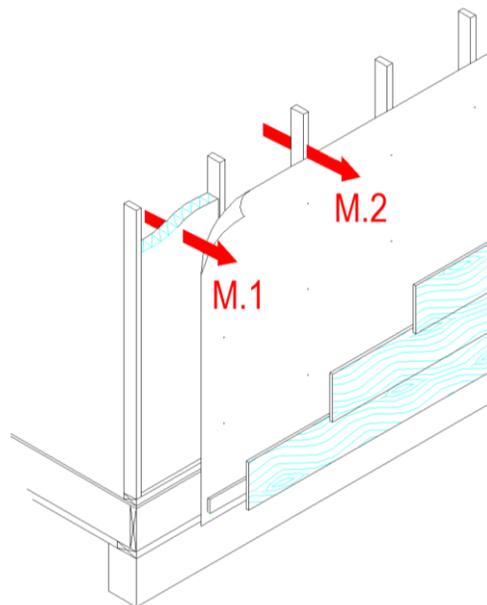
Fuente: elaboración propia.

En la tabla F.5 se observan los valores de la transmitancia térmica de los muros de esta vivienda. Se han designado con los números 1, 2, 3 y 4 a cada muro. La nomenclatura .1 y .2 hace referencia a la subdivisión del muro, dado que, al no ser homogéneo de manera lineal horizontal, se deben calcular como muros distintos y luego ponderar el valor de la transmitancia en relación al porcentaje de superficie de cada subdivisión, como se indicó anteriormente mediante la ecuación (3).

La nomenclatura .1 corresponde a la parte del muro donde no existe parte estructural del tabique donde va el aislante (sin el perfil de acero galvanizado) y .2 corresponde a la parte del muro donde si va la parte estructural del tabique (perfil de acero galvanizado) pero no existe aislación. De los cálculos se tiene que el 9,05% de la superficie del tabique es estructural (parte 2) y el 90,5% corresponde al sub-muro 1.

En la figura siguiente se puede ver en detalle la referencia de las sub divisiones de un muro.

**Figura F.5. Esquema de los flujos de calor a través de las sub-divisiones consideradas para un muro.**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver en la figura F.4, se muestran con flechas los flujos de calor que pasan por cada una de las sub-divisiones consideradas para cada muro, donde M hace referencia a muro y .1 y .2 la sub-division señalada anteriormente.

Se puede ver claramente que en las zonas donde no existe aislación (donde va el perfil de acero galvanizado) la transmitancia es tremendamente alta aumentando bastante la transmitancia promedio del muro. Como se verá más adelante, al anteponer aislación sobre este sector del tabique, la transmitancia se reduce de manera notable.

En la tabla F.5 se presenta un resumen de la materialidad de cada uno de los tipos de muros considerados.

**Tabla F.5. Materialidad de los muros.**

Tipo de muro	Sub-division	Materialidad
M 1	.1	Yeso-cartón, lana de vidrio, OSB, Tinglado de pino
	.2	Yeso-cartón, acero galvanizado, OSB, tinglado de pino
M 2	.1	Yeso cartón, Lana de vidrio, OSB, zinc-alum
	.2	Yeso cartón, acero galvanizado, OSB, zinc-alum
M 3	.1	Fibro-cemento, lana de vidrio, OSB, Tinglado de pino
	.2	Fibro-cemento, acero galvanizado, OSB, tinglado de pino
M 4	.1	Fibro-cemento, Lana de vidrio, OSB, zinc-alum
	.2	Fibro-cemento, acero galvanizado, OSB, zinc-alum

Fuente: elaboración propia.

En las tablas F.6 y F.7 se tiene el resumen de las características de los muros y los puentes térmicos de acuerdo a lo requerido en el método de CEV. En total se tienen 8 muros dada la geometría de la vivienda.

**Tabla F.6. Resumen muros.**

	Muro	Ángulo azimut	Orientación	Densidad	Área [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> K]
1	A	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	Liviano-Otro	15,1	0,6
2	B	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	Liviano-Otro	17,2	0,8
3	A	$-90^\circ \leq Az < -67,5^\circ$	O	Liviano-Otro	10,2	0,6
4	A	$90^\circ \leq Az < 112,5^\circ$	E	Liviano-Otro	8,7	0,6
5	B	$90^\circ \leq Az < 112,5^\circ$	E	Liviano-Otro	10,3	0,8
6	B	$-180^\circ \leq Az < -157,5^\circ$	S	Liviano-Otro	10,6	0,8
7	D	$-180^\circ \leq Az < -157,5^\circ$	S	Liviano-Otro	18,8	0,8
8	A	$-180^\circ \leq Az < -157,5^\circ$	S	Liviano-Otro	0,6	0,6

Fuente: elaboración propia.

Tabla F.7. Puentes térmicos de cada muro [m].

	P01	P02	P03
1	9,1	6,2	5,7
2	13,8		3,0
3	8,3		
4	6,8		3,4
5	2,7		5,4
6	7,8		8,3

Fuente: elaboración propia.

Notar que los muros 7 y 8 no fueron incluidos en los puentes térmicos ya que dichos puentes han sido incluidos en otros muros y sólo se deben contar una vez independiente que se presenten entre dos muros distintos. Los valores de U aparecen redondeados de manera aparente por la planilla, pero internamente trabaja el valor calculado anteriormente.

#### Puertas

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la vivienda, se cuenta con 2 puertas de madera sólida (puertas exteriores) sin superficie vidriada. Se definen de acuerdo a este parámetro y al muro al que pertenecen. Puerta principal de dimensiones 2 x 0,9 m y la puerta secundaria de similares características, pero de dimensiones 2 x 0,8m.

#### Ventanas

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la vivienda, se tienen 10 ventanas y se definen de acuerdo al método de CEV como se muestra en la tabla F.8.

Tabla F.8. Resumen de las ventanas y sus características.

Tipo Ventana	Azimut	Orientación	Elemento envolvente donde se encuentra	Tipo de Cierre de ventana	Posición Ventanal	Aislación Con/Sin retorno	Alto [m] (H)	Ancho [m] (W)
DVH con 6mm	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	A	Fija	Centrada	Sin	1,44	0,84
DVH con 6mm	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	A	Abatir	Centrada	Sin	1,44	0,84
DVH con 6mm	$-90^\circ \leq Az < -67,5^\circ$	O	A	Fija	Exterior	Sin	1,40	1,72
DVH con 6mm	$-90^\circ \leq Az < -67,5^\circ$	O	A	Abatir	Centrada	Sin	1,44	0,84
DVH con 6mm	$90^\circ \leq Az < 112,5^\circ$	E	B	Corredera	Centrada	Sin	1,21	1,21
DVH con 6mm	$90^\circ \leq Az < 112,5^\circ$	E	A	Corredera	Centrada	Sin	1,21	1,21
DVH con 6mm	$-180^\circ \leq Az < -157,5^\circ$	S	D	Corredera	Centrada	Sin	0,60	1,00
DVH con 6mm	$-180^\circ \leq Az < -157,5^\circ$	S	D	Corredera	Centrada	Sin	0,60	1,00
DVH con 6mm	$-180^\circ \leq Az < -157,5^\circ$	S	D	Abatir	Centrada	Sin	1,44	0,84
DVH con 6mm	$-180^\circ \leq Az < -157,5^\circ$	S	B	Corredera	Centrada	Sin	1,21	1,21

Fuente: elaboración propia.

En la tabla F.8 se muestran las características de cada ventana de acuerdo a lo requerido por el método CEV. Todas modeladas como doble vidrio hermético 3-6-3, con las orientaciones como se muestra en la tabla. Se indica sobre qué muro se encuentra instalada de acuerdo a lo definido anteriormente. Se muestra el tipo de ventana y la posición relativa respecto al muro. De acuerdo a las EETT de la vivienda todas son sin retorno. Se indican sus dimensiones y, además, poseen marco de PVC el que no se indica en la tabla.

Para el cálculo de los FAV (factor de acceso a la ventana) que son las sombras provocadas por obstáculos se procede de acuerdo a lo descrito anteriormente, utilizando los planos de la vivienda y la herramienta AutoCAD para determinar distancias y dimensiones que no vienen explícitas en los planos necesarias para estos cálculos.

En la tabla F.9 se muestran los resultados.

**Tabla F.9. Cálculo de los FAV de las ventanas en metros.**

FAV 1		FAV 2 Izquierda		FAV 2 Derecha	
D	L	P	S	P	S
1,1	0,3	0,3	1,8	0,8	2,7
0,3	0,3	0,3	0,5	0,8	4,0
	0,3				
0,3	0,3			0,4	2,0
3,8	0,3			1,2	0,5
2,3	0,3				
3,0	0,3				
1,0	0,3	0,3	2,1	0,3	2,1
0,6	0,3	0,3	3,7	0,3	1,9
0,4	0,3	0,3	1,0	0,3	4,0

Fuente: elaboración propia.

Siguen el mismo orden que las ventanas descritas en la tabla F.8. Ninguna de las ventanas presenta obstáculos de tipo FAV 3.

## FAR

Como se mencionó, los FAR corresponden básicamente a obstrucciones remotas que generan sombras sobre el edificio. Para calcularlos de manera que sea representativo de la mayoría de edificaciones similares se procedió de la siguiente manera: fue tomada la vivienda que presentara la mayor cantidad de obstáculos lejanos (FAR) y luego se tomó la que presentara la menor cantidad. De esa manera se saca un promedio entre dichas viviendas y son tomados como valores absolutos para la modelación de la vivienda tipo. Para cada una de las viviendas evaluadas se utilizó el mismo criterio, donde fueron consideradas las viviendas del mismo barrio o conjunto habitacional.

Para calcular dichos obstáculos se utilizó una vista real satelital de las viviendas utilizando la herramienta Google Earth. Luego, exportando la Figura satelital y utilizando la herramienta AutoCAD, la Figura fue escalada a tamaño real utilizando alguna dimensión conocida como base para el escalado, como puede ser el largo de un techo. Finalmente, se procede con el resto del procedimiento descrito anteriormente, utilizando AutoCAD para obtener las medidas necesarias para utilizar la herramienta de CEV.

Además, para obtener los resultados finales, cada una de las viviendas han sido rotadas en 90, 180 y 270 grados y de esta manera se promedian las demandas energéticas obtenidas para cada orientación de vivienda la que es considerada como representativa de cada caso evaluado.

### Techos

La evaluación de los techos se hace de manera similar a la utilizada en los muros, la diferencia radica en que los valores considerados para la resistencia superficial interior y exterior en la ecuación (2) cambian, de acuerdo a lo visto en la figura F.10 (flujo horizontal y flujo ascendente).

**Tabla F.10. U de los techos.**

	Techo 1.1	Techo 1.2	Techo 1.3	Techo 2.1	Techo 2.2	Techo 2.3
<b>U</b>	0,25	0,25	4,10	0,25	0,25	4,66
<b>U pond</b>	0,26			0,27		

Fuente: elaboración propia.

En la tabla F.10 se puede observar de manera análoga al cálculo de los muros, que se tienen 2 techos divididos en 3 sub techos.

El techo 1 corresponde al techo plano sobre el cielo el cual contiene una cámara de aire. Está formado por cerchas de perfiles de acero galvanizado tipo "metalcón" con portantes de cielo también de acero galvanizado. El revestimiento son planchas de yeso-cartón. Sobre el cielo (lado exterior) lleva aislación de lana de vidrio de 160 mm.

El techo 2 está compuesto básicamente de los mismos materiales, con la diferencia que corresponde a la zona del techo inclinado donde no existe cámara de aire.

La sección .1 corresponde a la parte donde va el aislante solo sobre la plancha de cielo. La sección .2 corresponde a la parte donde existe aislante sobre los perfiles portantes de cielo de acero galvanizado. La sección .3 corresponde a la parte donde se unen los perfiles portantes del cielo con las cerchas de acero galvanizado, pero no lleva aislación (por estar interrumpida por la cercha).

Los porcentajes de la superficie de techo (para ambos es la misma distribución) es: 92%, 7,58% y 0,42% para los sectores .1, .2 y .3 respectivamente.

En la tabla F.11 se observa los valores de los techos requeridos por el método CEV.

**Tabla F.11. Resumen de techos.**

Techos	Densidad Techo	Área (m <sup>2</sup> )	U [W/m <sup>2</sup> K]	Cámaras de aire	Tipo de cubierta
1	Liviano-Otro	18,22	0,26	Ventilada	Cubierta normal
2	Liviano-Otro	41,36	0,27	Sin cámara	Cubierta normal

Fuente: elaboración propia.

### Pisos

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la vivienda, se cuenta con capas de hormigón (fundaciones y cimientos) sobre la que se encuentra un radier de hormigón de 10 cm. De acuerdo a lo establecido en la NCh 853 para las características del piso, presenta un coeficiente de transmitancia lineal:

$$Kl = 1.2 \text{ W/mK}$$

El que se define de acuerdo al perímetro del piso de la vivienda que está en contacto con el aire exterior.

El perímetro en contacto con el piso para esta vivienda corresponde a 30.61 m.

Además, dado que esta vivienda cuenta con una ventana de tipo “bow window”, se incluye en los cálculos del piso, como piso ventilado. Éste presenta características similares a los calculados para los muros, pero cambian los valores de la Resistencia superficial en la ecuación (2) dado que corresponde a un flujo descendente. El área de este piso ventilado corresponde a 0.72 m<sup>2</sup> con un U calculado de 0,418 W/m<sup>2</sup>K.

### Vivienda B (pos 2007 1 piso)

#### Dimensiones

Esta vivienda presenta una arquitectura regular, por lo que el volumen se obtiene directamente con el área y la altura que es constante. La altura corresponde a la altura desde el piso hasta el cielo. En la tabla F.12 se observan los valores.

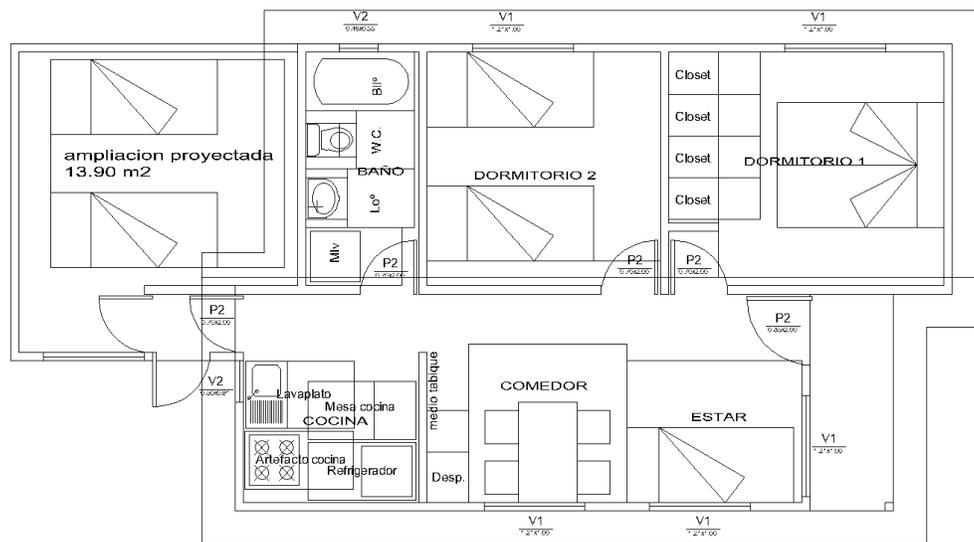
**Tabla F.12. Dimensiones de la vivienda.**

	Área [m <sup>2</sup> ]	Altura [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Piso 1	50,7	2,30	116,5
Piso 2			-
Piso 3+4+..			-
<b>Total</b>	<b>50,66</b>		<b>116,52</b>

Fuente: elaboración propia.

En la figura F.6 se puede observar la vista en planta de la vivienda evaluada.

Figura F.6. Vivienda B, vista en planta.



Fuente: información enviada por mandante.

### Muros

Se procede de la misma manera que en la vivienda anterior. Esta vez existe sólo una tipología de muro, y al igual que en la vivienda anterior, se tienen dos sub muros. La diferencia es que esta vivienda está construida con tabiquería de madera en vez de acero galvanizado y la aislación es lana de vidrio de 60 mm. En la tabla F.13 se observan los valores.

Tabla F.13. U de los muros.

	Muro 1.1	Muro 1.2
U	0,60	1,03
U pond	0,7	

Fuente: elaboración propia.

Donde la parte .1 del muro (donde no va estructura de madera del tabique) corresponde al 77,9% de la superficie del muro y la parte .2 (donde va tabique de madera y no aislación) corresponde al 22,1%.

Se puede observar en comparación con la vivienda anterior, que la madera tiene mejores propiedades aislantes que el acero galvanizado como es de esperar. En la tabla F.14 se muestra el resumen de las características de los muros, donde “muro per” corresponde al nombre asignado en la planilla de CEV para indicar que corresponde a muro perimetral y es un solo tipo de muro. Los valores son análogos a los de la vivienda A. En la tabla F.15 se muestran los puentes térmicos.

**Tabla F.14. Resumen muros.**

	Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Área (m <sup>2</sup> )	U [W/m <sup>2</sup> K]
1	muro per	0° ≤ Az < 22,5°	N	Madera	9,5	0,7
2	muro per	90° ≤ Az < 112,5°	E	Madera	20,1	0,7
3	muro per	-90° ≤ Az < -67,5°	O	Madera	22,9	0,7
4	muro per	-180° ≤ Az < -157,5°	S	Madera	12,0	0,7

Fuente: elaboración propia.

**Tabla F.15. Puentes térmicos sobre cada muro.**

P01	P02	P03
17,7		2,3
26,8	2,3	2,3
4,5		6,9
10,8		

Fuente: elaboración propia.

### Puertas

De acuerdo a las especificaciones técnicas de la vivienda, se cuenta con 2 puertas de madera sólida (puertas exteriores) sin superficie vidriada. Se definen de acuerdo a este parámetro y al muro al que pertenecen. Puerta principal de dimensiones 2 x 0,85 m y la puerta secundaria de similares características, pero de dimensiones 2 x 0,7 m.

### Ventanas

Se definen de manera análoga a la vivienda anterior y sus características se resumen en la tabla F.16. En la tabla F.17 se muestran los FAV. A diferencia de la vivienda anterior, esta vivienda presenta vidrio monolítico (“VM”).

Tabla F.16. Resumen de ventanas.

Tipo Ventana	Azimut	Orientación	Elemento envolvente donde se encuentra	Tipo de Cierre de ventana	Posición Ventanal	Aislación Con/Sin retorno	Alto [m] (H)	Ancho [m] (W)
VM	$0^\circ \leq Az < 22,5^\circ$	N	muro per	Corredera	Centrada	Con	1,00	1,21
VM	$90^\circ \leq Az < 112,5^\circ$	E	muro per	Corredera	Centrada	Con	1,00	1,21
VM	$90^\circ \leq Az < 112,5^\circ$	E	muro per	Corredera	Centrada	Con	1,00	1,21
VM	$-180^\circ \leq Az < -157,5^\circ$	S	muro per	Abatir	Centrada	Con	0,91	0,50
VM	$-90^\circ \leq Az < -67,5^\circ$	O	muro per	Guillotina	Centrada	Sin	0,55	0,46
VM	$-90^\circ \leq Az < -67,5^\circ$	O	muro per	Corredera	Centrada	Con	1,00	1,21
VM	$-90^\circ \leq Az < -67,5^\circ$	O	muro per	Corredera	Centrada	Con	1,00	1,21
VM	$90^\circ \leq Az < 112,5^\circ$	E	muro per	Corredera	Centrada	Con	1,00	1,21

Fuente: elaboración propia.

Todas las ventanas presentan marco de PVC. Ninguna ventana presenta FAV 3.

Tabla F.17. FAV de ventanas en metros.

FAV 1		FAV 2 Izquierda		FAV 2 Derecha	
D	L	P	S	P	S
0,7	0,4	1,1	1,5		
0,1	0,5				
0,1	0,5				
1,1	0,4			2,4	1,0
0,1	0,5				
0,1	0,5				
0,1	0,5				
0,1	0,5	3,0	1,0		

Fuente: elaboración propia.

## Techos

Se utiliza el mismo método que en la vivienda A, con la diferencia que ahora existe un solo tipo de techo. En la tabla F.18 se muestra el cálculo del U (mismos criterios que los definidos para la vivienda A) y en la tabla F.19 se muestran los valores que lo definen.

Tabla F.18. U del techo.

	Techo A1	Techo A2	Techo A3
U	0,25	0,22	0,51
U pond	0,25		

Fuente: elaboración propia.

Donde los porcentajes de superficie corresponden a 89,8%, 9,55% y 0,65% a las zonas de aislación; aislación-costanera; costanera con cercha. El material estructural de los techos es madera y la aislación presenta similares características: lana de vidrio de 160 mm y revestimientos similares.

**Tabla F.19. Resumen de valores del techo.**

Techos	Densidad Techo	Área (m <sup>2</sup> )	U [W/m <sup>2</sup> K]	Cámaras de aire	Tipo de cubierta
Techo	Madera	50,70	0,25	Ventilada	Cubierta normal

Fuente: elaboración propia.

### Pisos

Dado que el piso presenta características prácticamente iguales a las de la vivienda A, se utiliza el mismo valor de transmitancia lineal. El perímetro en contacto con el aire exterior de esta vivienda es de 33,8 m.

Esta vivienda posee piso sobre terreno.

### Vivienda C (pos 2000, pre 2007)

#### Dimensiones

En la tabla F.20 se presenta el resumen de las dimensiones de la vivienda.

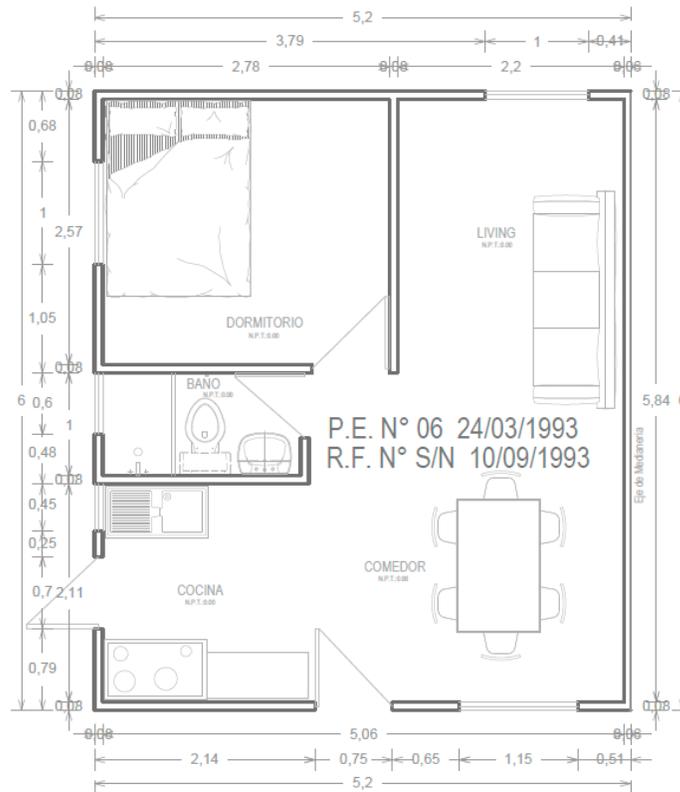
**Tabla F.20. Dimensiones vivienda C.**

	Área [m <sup>2</sup> ]	Altura [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]
Piso 1	29,6	2,30	68,0
Piso 2			-
Piso 3+4+..			-
<b>Total</b>	<b>29,55</b>		<b>67,97</b>

Fuente: elaboración propia.

En la figura F.7 se presenta el plano de planta de la vivienda evaluada.

Figura F.7. Planta vivienda C.



Fuente: información enviada por mandante.

### Muros

Se calculan de manera análoga a las viviendas anteriores. Cabe mencionar que esta vivienda no presenta aislación en muros y se puede ver en la tabla F.21 el valor alto de la transmitancia térmica. A1 representa el 77,9% de la superficie y A2 el 22,1%.

Notar que, en el espacio entre los tabiques, donde las viviendas más modernas poseen aislación, esta vivienda se modela con cámaras de aire.

Tabla F.21. Transmitancias.

	Muro 1.1	Muro 1.2
U	2,40	1,01
U pond	2,09	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla F.22 se muestran los valores requeridos para los muros para el método CEV. Se muestran 3 muros, dado que al ser viviendas pareadas poseen un muro medianero, el que, según el método de CEV, se considera adiabático.

En la tabla F.23 se muestran los puentes térmicos lineales para cada muro.

**Tabla F.22. Valores requeridos para los muros para el método CEV.**

Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Área (m <sup>2</sup> )	U [W/m <sup>2</sup> K]
Sin aislación	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	Madera	8,6	2,1
Sin aislación	$-112,5^\circ \leq Az < -90^\circ$	O	Madera	10,4	2,1
Sin aislación	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	Madera	10,6	2,1
Muro Adiabático	$67,5^\circ \leq Az < 90^\circ$	E	Pesado	13,4	-

Fuente: elaboración propia.

**Tabla F.23. Puentes térmicos.**

Puentes térmicos [mI]		
P01	P02	P03
12,4		2,3
14,0		4,6
10,1		4,6

Fuente: elaboración propia.

### Puertas

Las puertas se modelan como puertas de tablero de madera (madera liviana), de acuerdo a los planos de medidas 2 x 0,8 m y 1,9 x 0,7 m. Se definen de acuerdo al muro donde se encuentran.

### Ventanas

Las ventanas se presentan de acuerdo a la tabla F.24. Cabe mencionar que en los planos se presentan las medidas de las ventanas solamente, sin embargo, la información del marco se obtuvo utilizando la vista "Street view" de Google Earth donde se aprecia que todas las casas similares del barrio donde están emplazadas tienen marco metálico. Todas las ventanas corresponden a ventanas de vidrio monolítico sin aislación en marco ni ruptura de puente térmico.

Tabla F.24.

Tipo Ventana	Azimut	Orientación	Elemento envolvente donde se encuentra	Tipo de Cierre de ventana	Posición Ventanal	Aislación Con/Sin retorno	Alto [m] (H)	Ancho [m] (W)
VM	$-22,5^\circ \leq Az < 0^\circ$	N	sin aislación	Corredera	Centrada	Sin	1,30	1,15
VM	$-112,5^\circ \leq Az < -90^\circ$	O	sin aislación	Abatir	Centrada	Sin	0,75	0,45
VM	$-112,5^\circ \leq Az < -90^\circ$	O	sin aislación	Abatir	Centrada	Sin	0,60	0,60
VM	$-112,5^\circ \leq Az < -90^\circ$	O	sin aislación	Corredera	Centrada	Sin	1,00	1,00
VM	$157,5^\circ \leq Az < 180^\circ$	S	sin aislación	Corredera	Centrada	Sin	1,00	1,00

Fuente: elaboración propia.

En la tabla F.25 se pueden observar los FAV de cada ventana. Dada la simplicidad de la arquitectura de la vivienda evaluada y al no presentar techo inclinado por debajo de la altura de las ventanas, sólo presentan FAV 1.

Tabla F.25. FAV de ventanas.

FAV 1	
D	L
1,6	0,4
0,1	0,4
0,1	0,4
0,1	0,4
1,6	0,4

Fuente: elaboración propia.

## Techos

Dado que esta tipología de vivienda, por año de construcción si presenta aislación, a la vivienda base pre 2000 se le agregó aislación de acuerdo a la normativa vigente en el periodo 2000-2007. En la tabla F.26 se presentan los cálculos del U del techo.

Tabla F.26. U del techo.

	Techo 1.1	Techo 1.2	Techo 1.3
U	0,25	0,22	0,51
U pond	0,25		

Fuente: elaboración propia.

Se procede de manera análoga a las viviendas anteriores donde los porcentajes de superficie corresponden a 89,8%, 9,55% y 0,65% del área total del techo. En la tabla F.27 se muestran los valores utilizados en el método CEV.

**Tabla F.27. Resumen valores del techo.**

Techos	Densidad Techo	Área (m <sup>2</sup> )	U [W/m <sup>2</sup> K]	Cámaras de aire	Tipo de cubierta
Con aislación	Madera	29,60	0,25	No ventilada	Cubierta normal

Fuente: elaboración propia.

### Pisos

Se modela como piso de hormigón con características similares a las viviendas anteriores de acuerdo a lo visto en la visita a terreno, considerándose un coeficiente de transmitancia lineal de 1,2 W/mK y de acuerdo a los planos, el perímetro exterior en contacto con el aire es 22,4 m. No presenta pisos ventilados.

### Vivienda D (pre 2000)

Como se mencionó anteriormente, la vivienda D y C presentan las mismas características bases, ya que se utilizó el mismo modelo, por lo que todas las características se consideran iguales a excepción de la aislación en el techo.

De esta manera, sin considerar el techo aislado se tiene lo siguiente:

### Techos

Con lo mencionado en consideración, se tiene que los valores de la transmitancia en el techo son los mostrados en la tabla F.28. Los porcentajes del área total del techo son los mismos que la vivienda anterior por ser el mismo techo, pero no aislado.

El valor de U aumentó en casi diez veces al no tener aislación.

**Tabla F.28. Valores de U del techo.**

	Techo 1.1	Techo 1.2	Techo 1.3
U	2,46	1,37	0,51
U pond	2,34		

Fuente: elaboración propia.

### Consideraciones para los cálculos

Existe un factor que es tremendamente determinante a la hora de realizar los cálculos energéticos para las viviendas evaluadas: Las infiltraciones de aire.

Corresponde a los flujos de aire que ingresan o salen de un edificio, las que representan un importante transporte térmico con el exterior. Como se verá a continuación, las infiltraciones, calculadas de acuerdo a las renovaciones de aire por hora (en adelante RAH); que es cantidad de



veces que el volumen de aire del interior es reemplazado completamente por aire exterior en un periodo de una hora, representan un factor bastante más crítico que la misma aislación de la vivienda.

1. De acuerdo al manual de hermeticidad del aire de edificaciones, estudio realizado por la CITEC UBB y el DECON UC, las viviendas en Chile presentan un nivel de hermeticidad bastante bajo, lo que quiere decir que el nivel de infiltraciones es muy alto y, por tanto, la cantidad de RAH también es alta. La herramienta de CEV calcula las RAH de manera automática, atendiendo a la naturaleza de la envolvente y a las características y materialidad con la que ha sido definida, sin embargo, los valores asignados por el motor de dicha herramienta son bastante bajos, sin embargo, es posible modificar e ingresar manualmente un valor de RAH de acuerdo a método de cálculos o de contar con un dispositivo de renovaciones de aire. Al comparar los valores del estudio del manual de hermeticidad mencionado, se tienen valores bastante dispersos y de gran magnitud. Como punto de partida, se fija un valor que será designado como “línea base” donde se utilizará un valor de 15 RAH (50Pa) para las viviendas evaluadas. Este valor es fijado, de acuerdo a valores referenciales señalados en el manual y de acuerdo a lo solicitado por el mandante.
2. En Coyhaique existe un plan de descontaminación ambiental (PDA) el cual presenta una serie de medidas, entre las que destacan soluciones constructivas para las edificaciones de la ciudad. De acuerdo a esto, se ha procedido a modelar las viviendas de acuerdo a lo establecido en el PDA, en una segunda simulación. Entre las soluciones constructivas destacan una mayor aislación en muros y techos, ventanas y hermeticidad de las viviendas. Además, la cantidad de RAH (50Pa) se fija en 4.
3. A modo de comprobar la sensibilidad de los requerimientos térmicos de las viviendas con respecto a las infiltraciones, se han calculado, además, los requerimientos térmicos haciendo variar las RAH desde el valor mínimo hasta un valor alto a modo de comparación directa con lo calculado para la “línea base”.

## **Línea base**

De acuerdo a lo señalado anteriormente, las viviendas se modelan como fueron definidas en los puntos anteriores, pero definiendo una cantidad de RAH (50Pa) de 15.

Los resultados se muestran en la tabla F.29.

Tabla F.29. Demanda de calefacción para línea base.

Orientación	Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> -año]			
	Pos 2007 , 2 pisos	Pos 2007 1 piso	2000 - 2007	Pre 2000
N	274,2	247,9	293,6	500,2
E	267,94	254,42	283,28	491,12
S	267,11	253,93	294,70	501,36
O	270,58	251,64	305,12	510,75
Promedio	269,96	251,97	294,18	500,86
Letra CEV	D	E	F	G
% Ahorro CEV	25%	6%	-22%	-117%

Fuente: elaboración propia.

El valor final se ha obtenido al rotar cada vivienda en 90, 180 y 270 grados y finalmente promediar los resultados.

### Reacondicionamiento térmico

Modelando las viviendas de acuerdo al PDA de Coyhaique, se tiene que las características de la envolvente cambian. Entre las soluciones constructivas se tiene:

- A la tabiquería existente, se le agrega lana de vidrio de 80 mm entre los revestimientos (las viviendas nuevas evaluadas ya cuentan con esta aislación base). Sobre el tabique por el exterior se agregan planchas de poliestireno expandido de 50 mm. Luego el revestimiento exterior.
- Al techo, sobre el cielo, se agregan colchonetas de lana de vidrio, de 120 y 50 mm respectivamente formando una capa de 170 mm. (las viviendas pos 2007 cuentan con 160mm de aislación de lana de vidrio).
- Las ventanas se cambian por ventanas que cumplan los requerimientos técnicos de hermeticidad, espesor del vidrio, cámara de aire, aislación, etc.
- La vivienda debe ser sellada para cumplir con los requerimientos de hermeticidad y reducir, de esta manera, las pérdidas por infiltraciones (disminuyendo directamente las RAH).

La diferencia entre los valores de transmitancia calculados anteriormente y los calculados de acuerdo al reacondicionamiento térmico se muestran en la tabla F.30.

**Tabla F.30. Comparación de valores de U.**

Valores de U promedio por elemento constructivo [W/m <sup>2</sup> K]		Línea base	Reacondicionamiento térmico
Vivienda A Pos 2007, 2 pisos	Muro	0,604	0,311
	Techo	0,263	0,249
	ventanas	3,18	2,97
Vivienda B Pos 2007, 1 piso	Muro	0,695	0,350
	Techo	0,246	0,233
	ventanas	5,20	2,97
Vivienda C 2000 - 2007	Muro	2,088	0,331
	Techo	0,246	0,225
	ventanas	5,80	2,97
Vivienda D Pre 2000	Muro	2,088	0,331
	Techo	2,342	0,225
	ventanas	5,80	2,97

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, el valor de la transmitancia de los muros se reduce enormemente (a prácticamente la mitad) en las viviendas más nuevas sólo por el hecho de agregar aislación sobre el tabique. En los techos la diferencia es baja debido a que sólo se han considerado 10 mm más en la aislación. Las viviendas “viejas” mejoran enormemente como es de esperarse.

Para la vivienda A (Pos 2007 de 2 pisos) se utilizaron los valores de 1 muro y 1 techo solamente a modo de comparación.

En la tabla F.31 se puede ver la demanda de calefacción de las viviendas al ser modeladas de acuerdo al reacondicionamiento térmico.

Si se comparan los resultados de las tablas F.29 y F.31 se puede ver la enorme diferencia en la demanda de calefacción.

**Tabla F.31. Demanda de calefacción de acuerdo al reacondicionamiento térmico.**

Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> -año]				
Orientación	Pos 2007 , 2 pisos	Pos 2007 1 piso	2000 – 2007	Pre 2000
N	131,60	149,70	122,90	122,90
E	128,59	153,64	118,58	120,67
S	128,19	153,34	123,35	123,18
O	129,86	151,96	127,72	125,49
Promedio	129,56	152,16	123,14	123,06

Fuente: elaboración propia.

## Variación de las RAH

A modo de observar la sensibilidad de la demanda energética de las viviendas evaluadas a las RAH (50Pa), se han modelado las viviendas con su arquitectura original (materialidad) pero variando las RAH para cada una de ellas, desde un valor de 4 RAH (50Pa) hasta un valor arbitrario de 37 RAH (50Pa).

**Tabla F.32. Variación de la demanda con las RAH (vivienda tipo A pos 2007, 2 pisos).**

Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> -año]							
Orientación	4 RAH	9,5 RAH	15 RAH	20,5 RAH	26 RAH	31,5 RAH	37 RAH
N	185	217,9	274,2	331	388	445,2	502,6
E	180,78	212,93	267,94	323,44	379,14	435,04	491,13
S	180,21	212,26	267,11	322,44	377,96	433,68	489,60
O	182,56	215,03	270,58	326,63	382,88	439,33	495,97
<b>Promedio</b>	182,14	214,53	269,96	325,88	382,00	438,31	494,82

Fuente: elaboración propia.

**Tabla F.33. Variación de la demanda con las RAH (vivienda tipo B pos 2007, 1 piso).**

Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> -año]							
Orientación	4 RAH	9,5 RAH	15 RAH	20,5 RAH	26 RAH	31,5 RAH	37 RAH
N	219,6	219,6	247,9	287,1	326,4	365,9	405,5
E	225,37	225,37	254,42	294,65	334,98	375,52	416,16
S	224,95	224,95	253,93	294,09	334,35	374,81	415,37
O	222,91	222,91	251,64	291,43	331,33	371,42	411,62
<b>Promedio</b>	223,21	223,21	251,97	291,82	331,76	371,91	412,16

Fuente: elaboración propia.

**Tabla F.34. Variación de la demanda con las RAH (vivienda tipo C 2000 - 2007).**

Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> -año]							
Orientación	4 RAH	9,5 RAH	15 RAH	20,5 RAH	26 RAH	31,5 RAH	37 RAH
N	261,3	261,3	293,6	332,3	371,2	410,3	449,6
E	252,12	252,12	283,28	320,62	358,16	395,88	433,80
S	262,28	262,28	294,70	333,54	372,59	411,83	451,28
O	271,56	271,56	305,12	345,34	385,77	426,41	467,25
<b>Promedio</b>	261,81	261,81	294,18	332,95	371,93	411,11	450,48

Fuente: elaboración propia.

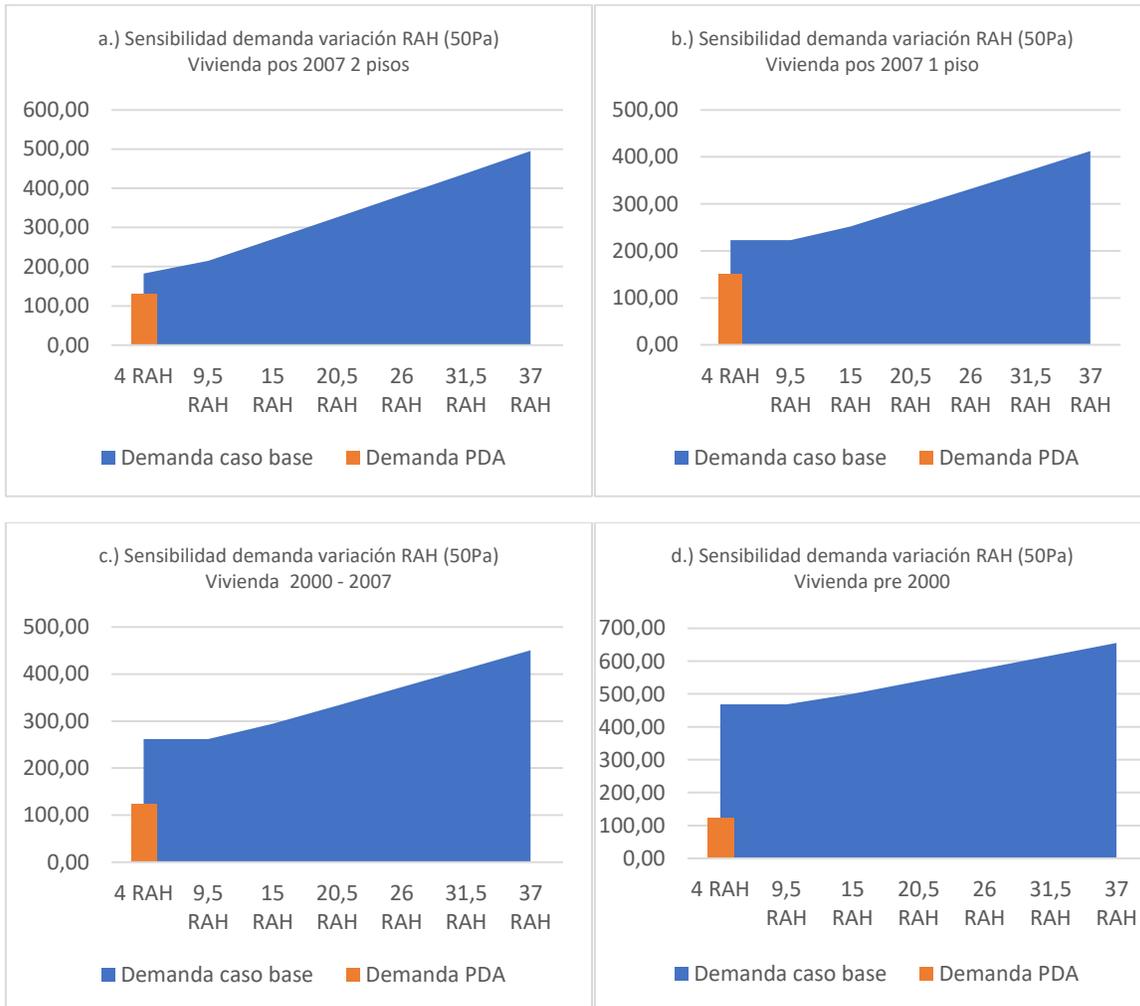
**Tabla F.35. Variación de la demanda con las RAH (vivienda tipo D pre 2000).**

Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> -año]							
Orientación	4 RAH	9,5 RAH	15 RAH	20,5 RAH	26 RAH	31,5 RAH	37 RAH
N	467,8	467,8	500,2	538,9	577,5	616,2	655
E	459,31	459,31	491,12	529,12	567,02	605,02	643,12
S	468,89	468,89	501,36	540,15	578,84	617,63	656,52
O	477,67	477,67	510,75	550,27	589,68	629,20	668,82
<b>Promedio</b>	468,42	468,42	500,86	539,61	578,26	617,01	655,86

Fuente: elaboración propia.

En las figuras siguientes se puede observar de manera gráfica la variación de la demanda de calefacción manteniendo las características de la envolvente de las viviendas, pero variando las RAH.

**Figura F.8. Sensibilidad en la demanda ante la variación de las RAH (50Pa). a) vivienda tipo A, b) Vivienda tipo B, c) Vivienda tipo C, d) Vivienda tipo D. en [kWh/ m<sup>2</sup>-año]**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede ver de las tablas F.32 a F.35, y de las figuras 14a a 14c, con el solo hecho de reducir el nivel de infiltraciones de la vivienda al mínimo, es decir, aumentando su hermeticidad, es posible reducir su requerimiento energético (por metro cuadrado) a la mitad. Además, se observa que mientras mayor es el volumen de la vivienda, se hace más sensible a niveles de infiltraciones altos.

Se puede observar además, por las limitaciones de la herramienta CEV, que dependiendo del tipo de envoltorio, se llega un límite inferior de RAH.

### Demanda de agua caliente sanitaria “ACS”

La demanda de ACS se obtiene de las simulaciones de las viviendas tipo al utilizar la herramienta de CEV. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla F.36.

La herramienta de CEV calcula de manera automática las demandas de ACS, iluminación entre otros, en base a los valores con los que han sido definidas las viviendas en la planilla: “01.-PBSD-Datos-de-Arquitectura” y 4 parámetros definidos en la planilla: “03.-PBSD-Datos-de-Equipos-y-Resultados” considerando los mínimos exigidos por la normativa vigente. En particular, los 4 parámetros definidos en la última planilla mencionada representan los parámetros más importantes dado que son independientes de los parámetros que definen las características de la vivienda en la primera planilla y son modificables después de correr las simulaciones. Los valores utilizados son los siguientes:

- Tpo de energía a utilizar: gas licuado.
- Rendimiento de generación: 0.7 (por defecto)
- Corrección por distribución: cañería sin aislación con rendimiento de 0,9.
- Corrección por estanque de almacenamiento de ACS: no se considera estanque de almacenamiento.

**Tabla F.36. Demanda de ACS de cada tipología de vivienda.**

Vivienda tipo	Demanda ACS		% demanda ACS/Calefacción	
	[kWh-año]	[kWh/m <sup>2</sup> -año]	Línea base	Reac. térmico
Vivienda A Pos 2007, 2 pisos	4.278,50	62,91	18,90%	32,68%
Vivienda B Pos 2007, 1 piso	3.440,98	67,92	21,23%	30,87%
Vivienda C pos 2000 Pre 2007	2.209,43	74,77	20,26%	37,78%
Vivienda D Pre 2000	2.209,43	74,77	12,99%	37,79%

Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de demanda de ACS con respecto a la demanda de calefacción hace referencia a la demanda total de calefacción (calefacción más ACS). Todas las demandas de calefacción mostradas en las tablas anteriores no incluyen ACS.

### Potencia peak de calefacción.

La potencia peak de calefacción se obtiene de la planilla de resultados de la herramienta CEV. Esta planilla muestra en tabla los resultados de la simulación en intervalos de una hora. Para determinar

la demanda máxima de calefacción se busca el mayor valor de demanda de calefacción por hora. Los resultados se muestran en la tabla F.37.

**Tabla F.37. Potencia peak de calefacción**

Calefacción peak [kW]								
Orientación	Pos 2007 , 2 pisos		Pos 2007 1 piso		2000 - 2007		Pre 2000	
	Línea base	Reac. Térmico	Línea base	Reac. Térmico	Línea base	Reac. Térmico	Línea base	Reac. Térmico
<b>N</b>	3,93	2,89	2,96	2,44	1,94	1,42	3,07	1,42
<b>E</b>	3,84	2,82	3,04	2,50	1,87	1,37	3,01	1,39
<b>S</b>	3,83	2,82	3,03	2,50	1,95	1,43	3,08	1,42
<b>O</b>	3,88	2,85	3,00	2,48	2,02	1,48	3,13	1,45
<b>Promedio</b>	3,87	2,85	3,01	2,48	1,94	1,42	3,07	1,42

Fuente: elaboración propia.

Se puede ver que la potencia máxima o peak requerida para calefacción baja en algunos casos de manera notable al reacondicionar térmicamente las viviendas.



## G) Costos de reacondicionar térmicamente viviendas

En el punto anterior, f), se generó un estudio para 4 tipos de viviendas, para las cuales se calculó la demanda energética de calefacción y ACS en condiciones estructurales y de aislación actuales, que, en contraste con las recomendaciones de aislación y cambios en el tipo de ventanas en estas viviendas, reflejan el alto consumo en leña que generan.

La implementación del reacondicionamiento térmico, incorpora medidas de hermeticidad que disminuyan las infiltraciones, y el cambio de las ventanas por termopaneles, todas estas mejoras reducirán el consumo de leña, dada una mayor capacidad de la estructura o materiales de construcción para contener el calor generado al interior de las viviendas.

Las mejoras a implementar en las viviendas de acuerdo al reacondicionamiento térmico, requiere de una inversión en compra y montaje de los materiales y estructuras que permitan cumplir con los objetivos de disminuir la demanda energética de calefacción de los 4 tipos de viviendas estudiadas. Por lo que dentro del presente punto se abordará los costos asociados al implementar los reacondicionamientos en las viviendas.

A continuación, se resumen las condiciones de consumo energético en condición actual (Línea base) y en condición de reacondicionamiento según el estándar establecido en el PDA de Coyhaique.

### **Demanda energética para viviendas estudiadas**

#### **Condición de demanda energética actual de las viviendas**

En las Tablas G.1 y G.2 se indican las características de las viviendas, como línea base para definir las ventajas en términos energéticos de los cambios propuestos en el punto f).

**Tabla G.1. Resumen de condiciones actuales de las viviendas estudiadas en el punto f) o línea base.**

Tipología	DEMANDA BASE					CARACTERÍSTICAS AISLACIÓN Y HERMETICIDAD BASE			
	Área muros (m <sup>2</sup> )	Área techo (m <sup>2</sup> )	Área ventanas (m <sup>2</sup> )	kWh - año	kWh/m <sup>2</sup> - año	Aislación muros	Aislación techos	Aislación ventanas	Hermeticidad
Post 2007, 2 pisos	91,53	59,58	15,91	18.361	269,96	1 capa de lana de vidrio de 80 mm.	1 capa de lana de vidrio de 160 mm.	Vidrio doble hermético	15 RAH
Post 2007, 1 piso	64,83	50,66	7,97	12.767	251,97	1 capa de lana de vidrio de 80 mm.	1 capa de lana de vidrio de 160 mm.	No termopanel.	15 RAH
Post 2000 - Pre 2007	29,89	29,55	4,58	8.694	294,18	No tiene aislación.	1 capa de lana de vidrio de 160 mm.	No termopanel.	15 RAH
Pre 2000	29,89	29,55	4,58	14.801	500,86	No tiene aislación.	No tiene aislación.	No termopanel.	15 RAH

Fuente: elaboración propia.

**Tabla G.2. Resumen de consumo de combustible de las viviendas estudiadas o línea base (combustible en base a leña).**

Tipologías	Consumo de combustible (m <sup>3</sup> año)	Costo combustible (M\$ año)
Post 2007, 2 pisos	21	513
Post 2007, 1 piso	14	357
Post 2000 - Pre 2007	10	243
Pre 2000	17	414

Nota 1: Como precio de combustible se utilizó un valor de \$25.000, lo cual corresponde a mercado informal. Este valor oscila entre \$20.000 y \$25.000.

Nota 2: El consumo de combustible se obtiene de dividir la demanda base (calefacción), kWh/año, indicada en tabla G.1 por la capacidad de calefacción de una caldera a leña, con 60% de eficiencia y leña con poder calorífico inferior (PCI) de 1.491 kWh/kg.

Fuente: elaboración propia.

Nota 3: Debido a que las viviendas pre 2000 no poseen estándar térmico en su envolvente, estas son más intensas energéticamente (energía por unidad de superficie) que viviendas construidas posteriormente. Esto explica su alta demanda energética y consumo de combustible respectivo.

### Condición de demanda energética de las viviendas según estándar PDA de Coyhaique

Según las recomendaciones indicadas en el punto f) se tiene como resultado para la demanda energética de los 4 tipos de viviendas estudiadas, lo indicado en las Tablas G.3 y G.4.

Tabla G.3. Resumen situación mejorada según reacondicionamiento térmico.

Tipología	DEMANDA con REACONDICIONAMIENTO (CALEFACCIÓN)		CARACTERÍSTICAS AISLACIÓN Y HERMETICIDAD Para reacondicionamiento térmico			
	kWh - año	kWh/m <sup>2</sup> - año	Aislación muros	Aislación techos	Aislación ventanas	Hermeticidad
Post 2007, 2 pisos	8.813	129,6	Complementar con 1 capa de poliestireno expandido de 50 mm.	Complementar con 1 capa de lana de vidrio de 10 mm.	Termopanel.	4 RAH
Post 2007, 1 piso	7.707	152,2	Complementar con 1 capa de poliestireno expandido de 50 mm.	Complementar con 1 capa de lana de vidrio de 10 mm.	Termopanel.	4 RAH
Post 2000 - Pre 2007	3.639	123,1	1 capa de lana de vidrio 80 mm y 1 capa de poliestireno expandido de 50 mm.	Complementar con 1 capa de lana de vidrio de 10 mm.	Termopanel.	4 RAH
Pre 2000	3.636	123.1	1 capa de lana de vidrio 80 mm y 1 capa de poliestireno expandido de 50 mm.	1 capa de lana de vidrio de 120 mm y 1 capa de lana de vidrio de 50 mm.	Termopanel.	4 RAH

Fuente: elaboración propia.

Tabla G.4. Resumen de consumo de combustible de las viviendas estudiadas según reacondicionamiento térmico (combustible en base a leña).

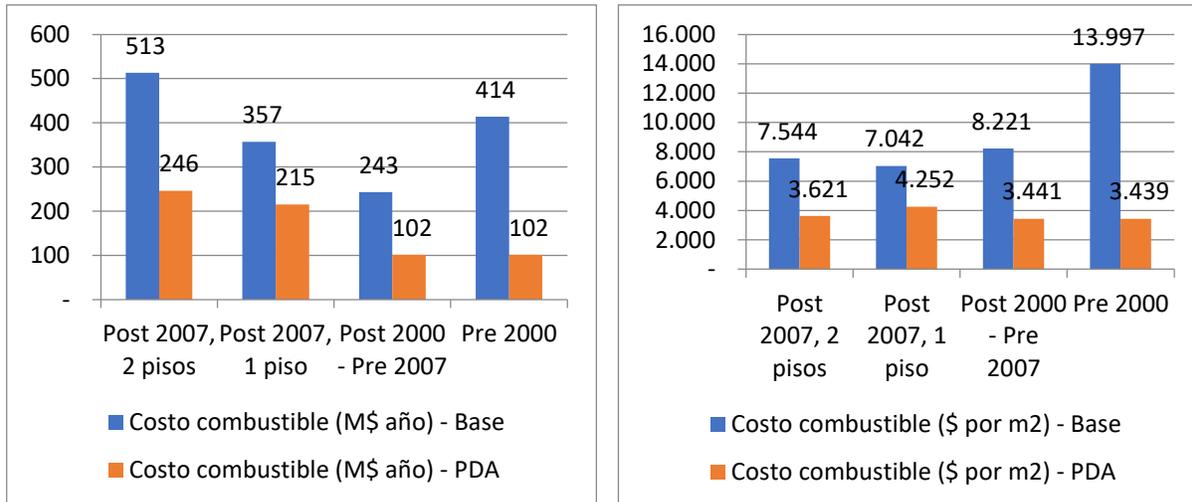
Tipologías	Consumo de combustible (m <sup>3</sup> año)	Costo combustible (M\$ año)
Post 2007, 2 pisos	10	246
Post 2007, 1 piso	9	215
Post 2000 - Pre 2007	4	102
Pre 2000	4	102

Nota: como precio de combustible se utilizó un valor de \$25.000, lo cual corresponde a mercado informal. Este valor oscila entre \$20.000 y \$25.000.

Fuente: elaboración propia.

Cabe indicar que la reducción en los costos de combustible (leña) se reduce entre un 25% y un 60% del gasto actual incurrido en satisfacer la demanda energética de calefacción en los 4 tipos de viviendas. De esta manera se demuestra los beneficios en costo y consumo de combustible al implementar el acondicionamiento de las viviendas de acuerdo con el reacondicionamiento térmico. Ver figura G.1.

**Figura G.1. Costo en combustible (leña) Línea base vs. Reacondicionamiento térmico, M\$ por año y \$ por unidad de superficie.**



Fuente: elaboración propia.

## Costos de inversión para el reacondicionamiento de los tipos de viviendas estudiadas.

### Antecedente para la definición de costos de inversión

Como antecedente se utilizaron los datos proporcionados por el SERVIU (ver Anexo F).

**Tabla G.5. Referencia de materiales y mano de obra.**

Descripción	Costo material más mano de obra (\$/m²)
Reacondicionamiento vivienda completa (promedio)	230.000

Fuente: valores proporcionados por el SERVIU del "Programa piloto de rehabilitación energética de viviendas existentes en Coyhaique"  
Nota: Valores incluyen IVA+30% adicional por zona extrema. Cabe mencionar que este valor considera un reacondicionamiento energético completo, que van más allá de un acondicionamiento térmico convencional, por lo que 230.000 \$/m² es un valor alto.

### Costos de inversión para el acondicionamiento

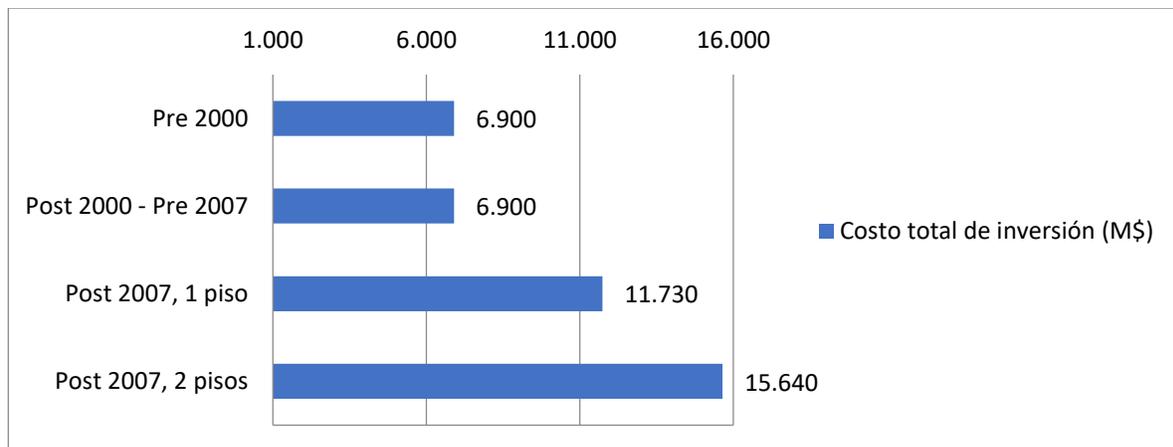
La tabla G.6 indica los costos asociados a implementar el acondicionamiento de los 4 tipos de viviendas estudiadas, siendo la de mayor inversión, como Acondicionamiento/m², la vivienda Post 2007, 2 pisos. Esto principalmente se explica porque posee mayor superficie, por ello también se explica que las viviendas Pre 2000 y Post 2000 – Pre 2007 tienen un valor menor por m².

Tabla G.6. Costos de inversión para reacondicionamiento según estándar PDA.

Tipología	Total Superficie Vivienda (m <sup>2</sup> )	Costo unitario reacondicionamiento (M\$/m <sup>2</sup> )	Costo Total de Inversión (M\$)
Post 2007, 2 pisos	68	230	15.640
Post 2007, 1 piso	51	230	11.730
Post 2000 - Pre 2007	30	230	6.900
Pre 2000	30	230	6.900

Nota: Total superficie viviendas es obtenida de dividir columnas kWh – año y kWh/m<sup>2</sup> -año de tabla G.3.  
Fuente: elaboración propia.

Figura G.2. Costo total de inversión en reacondicionamiento viviendas según estándar PDA de Coyhaique.



Fuente: elaboración propia.

## Comentarios

Como se comentó anteriormente, son evidentes los beneficios térmicos de acondicionar las viviendas de manera que cumpla con el PDA de Coyhaique. La reducción en los costos de combustible (leña) se reduce entre un 25% y 60% del gasto actual incurrido en satisfacer la demanda energética de calefacción en los 4 tipos de viviendas. Sin embargo, el elevado costo por unidad de superficie reacondicionada, 230.000\$/m<sup>2</sup> hace que no sea factible desde un punto de vista económico - privado, por lo que subsidios públicos que vayan en esta línea son necesarios.



## H) Costos de calefacción y ACS de las viviendas

Para lograr determinar los costos de calefacción y consumo de ACS de las viviendas, se realizó una encuesta en la ciudad de Cochrane. Con este instrumento, se logró calcular el precio promedio de venta de leña, costo promedio anual de mantención de los equipos de calefacción y consumo promedio de leña anual. En cuanto al agua caliente sanitaria, se calculó el consumo anual y el costo para los habitantes de Cochrane, de esta forma se estimó el costo total en el uso de energía térmica para calefacción y ACS. Además, se levantó información respecto al manejo de leña en el hogar y de percepción de los habitantes de Cochrane respecto al uso de la energía, en particular para la calefacción.

La encuesta consta de 24 preguntas, donde cada una de las preguntas, como sus alternativas de respuestas, fueron consensuadas con la contraparte de la SEREMI de Medio Ambiente de Aysén. La encuesta se muestra a continuación en formato y forma en el Anexo H.

### Muestra

Según CENSO 2017, la comuna tiene 1.771 viviendas, de las cuales 1.310 se encuentran en la zona urbana, y 461 en la zona rural. Para el caso de este estudio, solo se consideran las viviendas en la zona urbana.

La encuesta fue realizada en 50 viviendas, de esta forma, se logró encuestar a un 3,8% de las viviendas de Cochrane.

### Resultados

En términos del artefacto para el uso de calefacción y ACS, los resultados se presentan a continuación.

Cabe destacar que, para el uso de estufa a combustión, donde las posibilidades se dividían en 2, estufa cámara simple y estufa cámara doble, los encuestados en muchas ocasiones no supieron responder, incluso mostrando material gráfico. De esta forma se unieron ambas alternativas en “Estufa a combustión”. Además, la alternativa “Estufa a Pellet” no se encontraba, pero se incluyó en las respuestas a la hora de realizar la encuesta.

**Tabla H.1. Artefactos para Calefacción.**

Artefacto(s)	Número de viviendas
Estufa a Combustión	17
Estufa a Combustión + Cocina a Leña	18
Estufa a Combustión + Estufa Eléctrica	3
Estufa a Combustión + Estufa a Gas	3
Cocina a Leña	8
Estufa a Pellet	1
<b>Total</b>	<b>50</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla H.2. Artefactos para ACS.**

Artefacto(s)	Número de viviendas
Calefón	44
Calefón + Cocina a Leña	3
Cocina a Leña	2
Sistema Eléctrico	1
<b>Total</b>	<b>50</b>

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se desprende que el 98% de los encuestados utiliza leña como combustible para su calefacción. En el caso del agua caliente sanitaria, el uso de gas es de un 94%.

#### Cálculo costo leña

Para el cálculo del costo promedio de la leña en la ciudad de Cochrane, donde todos los encuestados respondieron que compraban “por metro”, como unidad de medida, pero al tener una variabilidad muy amplia de formas de compra, en términos de temporalidad, como, por ejemplo: compra mensual, bimensual, trimestral, semestral y anual, se consultó por el total de la leña comprada el último año, y el costo de la compra de todo el combustible. Así, del total de encuestados que respondió que utilizaba leña, solo un encuestado respondió que no compraba leña, sino que la recogía. De esta forma, nuestra muestra es de 48 encuestas.

Metodológicamente, para un cálculo lo más ajustado a la realidad, se procedió a calcular: promedio, desviación estándar, límite inferior y límite superior. De esta forma se pueden identificar los datos que distorsionan los cálculos, y así poder eliminar los datos atípicos (outliers). En la siguiente tabla se muestran los datos estadísticos preliminares.

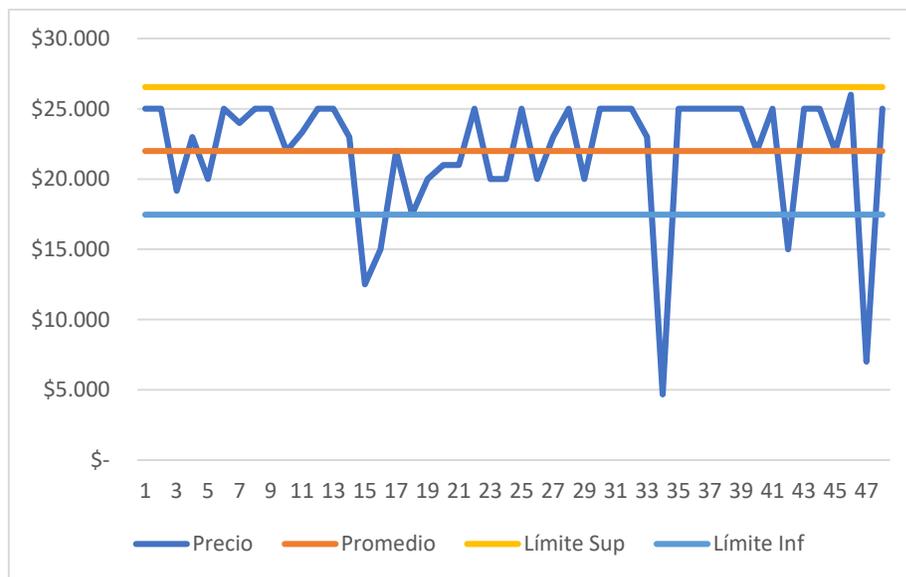
**Tabla H.3. Resultados Preliminares.**

Función	Resultado
Promedio	\$ 22.003
Desviación Estándar	\$ 4.545
Límite Superior	\$ 26.549
Límite Inferior	\$ 17.458

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, en la siguiente figura se muestra los datos atípicos:

**Figura H.1. Datos Estadísticos Preliminares.**



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se eliminan, para este cálculo, la encuesta 34 y 47, dando como resultado de precio promedio del m<sup>3</sup>st de leña igual a **\$ 22.707**.

#### Cálculo consumo leña anual

Para el cálculo del consumo de leña promedio anual, al igual que para el cálculo del costo de la leña, se consultó por el consumo anual del año 2019. Así, metodológicamente, se procedió a realizar de la misma manera el cálculo. Agregar, que hubo una encuesta, donde el encuestado acusó que su vivienda también era usada como restaurant, por tanto, fue eliminada de la muestra.

En la siguiente tabla se muestran los datos estadísticos preliminares.

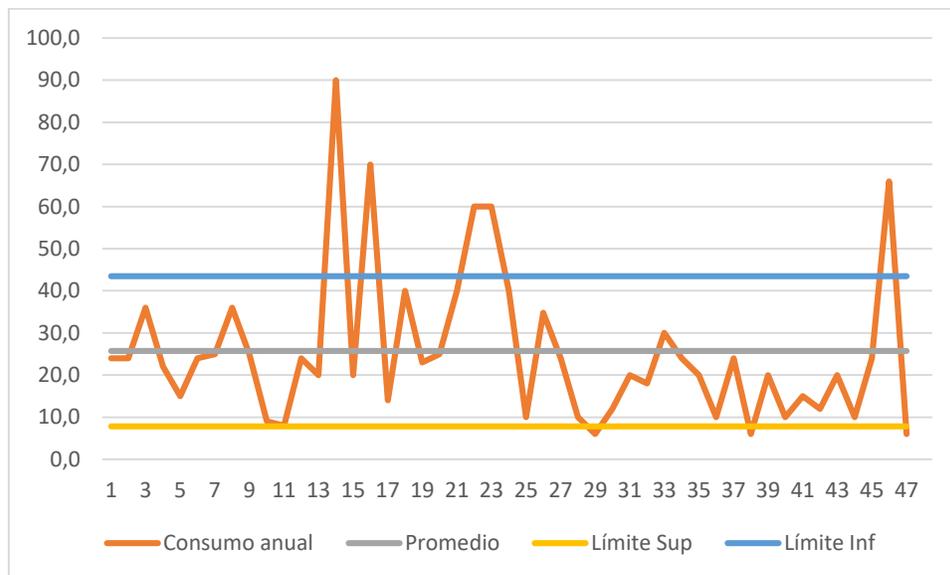
**Tabla H.4. Datos preliminares consumo leña.**

Función	Resultado
Promedio	25,7 m <sup>3</sup>
Desviación Estándar	17,9 m <sup>3</sup>
Límite Superior	43,5 m <sup>3</sup>
Límite Inferior	7,8 m <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, en la siguiente figura se muestra los datos atípicos:

Figura H.2. Datos Estadísticos Preliminares.



Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se eliminan las encuestas 14, 16 y 46 de la muestra. Así, el promedio de consumo anual por vivienda es de **23,24 m<sup>3</sup>**, lo que corresponde a 1,94 m<sup>3</sup> promedio mensual.

#### Cálculo costo anual consumo de leña Cochrane

Según los cálculos presentados recientemente, el costo anual de consumo de leña en Cochrane se presenta en la siguiente tabla:

Tabla H.5. Costo consumo anual promedio Cochrane.

Costo Promedio m <sup>3</sup> Leña [€]	Consumo Promedio [m <sup>3</sup> ]	Costo Promedio Consumo anual
€ 22.707	23,24	€ 527.711

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, el costo del consumo de leña promedio anual en la ciudad de Cochrane es de **€ 527.711**.

#### Cálculo gasto mantención de equipo de calefacción anual

Para el cálculo del gasto en mantención de los equipos de calefacción, primero declarar que el 100% de los encuestados manifestó que efectivamente realiza mantención a su equipo. De las 50 viviendas encuestas, 49 utilizan algún artefacto de calefacción a combustión, de este número, 22 viviendas manifiestan pagar por dicho servicio. Los datos respecto a la mantención se encuentran en la siguiente tabla:

**Tabla H.6. Datos Mantenición.**

Total Viviendas	Total viviendas con sistema de calefacción a combustión	Frecuencia media de mantención sistema a combustión [veces/año]	Total viviendas que paga por mantención	Porcentaje de viviendas que paga por mantención	Costo promedio por mantención	Costo promedio anual por mantención
50	49	11,5	22	45%	\$10.091	\$116.046

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, el costo anual promedio de mantención de los equipos de calefacción a combustión es de \$116.046.

#### Cálculo de consumo en gas

Para el cálculo en consumo de gas, se solicitó a los encuestados que respondieran sobre el consumo anual de gas para el año 2019. Del total de encuestados, el 94% contestó que usaba gas para el ACS, o sea 47 viviendas. Si bien existen casos donde se utilizaba una cocina a gas, conectada al mismo cilindro que abastece el calefón para el ACS, no se considera a propósito de que el 72% de los encuestados utilizan cocina a leña, y, además, a nivel nacional el consumo de energía por uso de cocina corresponde a un 25% en relación al ACS (CDT, 2018). Los datos estadísticos se presentan en la siguiente tabla:

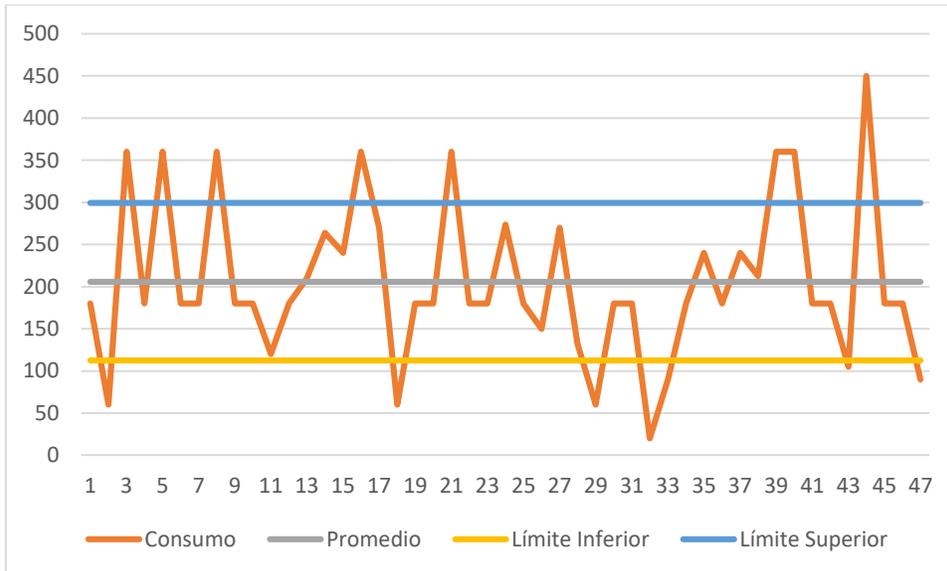
**Tabla H.7. Datos estadísticos uso de gas para ACS.**

Función	Resultado
Promedio	205,9 Kg
Desviación Estándar	93,4 Kg
Límite Superior	299,3 Kg
Límite Inferior	112,5 Kg

Fuente: Elaboración propia.

De forma gráfica los resultados se presentan en la siguiente figura:

Figura H.3. Consumo gas para ACS.



Fuente: Elaboración propia.

Para este caso, el consumo es muy variado, por lo que eliminar los outliers generaría una distorsión mayor en nuestra muestra, esto pues los outliers corresponden al 30% de la muestra. A modo de observación, comentar que 1 vivienda consume 450 Kg/año, 7 viviendas 360 Kg/año, 3 viviendas 60 Kg/año y una vivienda consumo 20 Kg/año. De esta forma, el consumo promedio anual de gas se establece en **205,61 Kg.**

#### Cálculo costo consumo de gas

Según lo indicado por los encuestados, estos realizan la compra de gas licuado en los 4 formatos; 5 kg, 11 Kg, 15 Kg y 45 Kg. En el punto J), tabla J.1, se encuentra el listado de los distribuidores locales, junto con el precio de cada formato de venta. De esta forma, según lo indicado por los encuestados, la distribución de compra de cilindros de gas se da de la siguiente manera:

Tabla H.8. Formato consumo de gas por vivienda.

Formato	Viviendas
5 Kg.	4
11 Kg.	2
15 Kg.	33
45 Kg.	2
5 Kg. + 15 Kg.	4
15 Kg. + 45 Kg.	2
<b>Total</b>	<b>47</b>

Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, se realiza el cálculo del combustible consumido anualmente, por el valor de los cilindros de gas utilizados. De esta forma, el costo del consumo promedio anual de gas en la ciudad de Cochrane es de **\$331.016**.

#### Costo total uso de leña y gas para calefacción y ACS

Para el cálculo total del uso de calefacción y ACS, se divide en dos el cálculo; consumo de leña, mantención de equipo de calefacción y consumo de gas, y consumo de leña y gas. Esto, pues el 55% de las viviendas no paga por la mantención, sino que la realizan habitantes de la vivienda.

Así, el costo promedio por vivienda para la ciudad de Cochrane en calefacción por leña y ACS a través de gas se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla H.9. Costo total uso de leña y gas para calefacción y ACS.**

Gasto	Costo promedio
Leña	\$ 527.711
Gas	\$ 331.016
Mantención equipo calefacción	\$ 116.046
Total: Leña + Gas + Mantención equipo calefacción	\$ 974.773
Total: Leña + Gas	\$ 858.727

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, el gasto promedio anual de una vivienda, que no paga por la mantención de su equipo de calefacción, en combustible para calefacción y ACS es de \$ 858.727. Para el caso de una vivienda que, si paga por la mantención de su equipo de calefacción, el costo asciende a \$ 974.773.

#### Información uso de la leña

Con el fin de conocer con mayor detalle las especies más utilizadas en la zona, se consultó a los habitantes de Cochrane por qué especie de madera utilizaban. Así, donde cada encuestado podía responder más de una opción, los resultados se expresan en la siguiente tabla:

**Tabla H.10. Especies utilizadas para calefacción.**

Especie	Porcentaje de utilización
Lenga	43,8%
Coihue	3,8%
Ñirre	48,8%
Pino	2,5%
Otro	1,3%

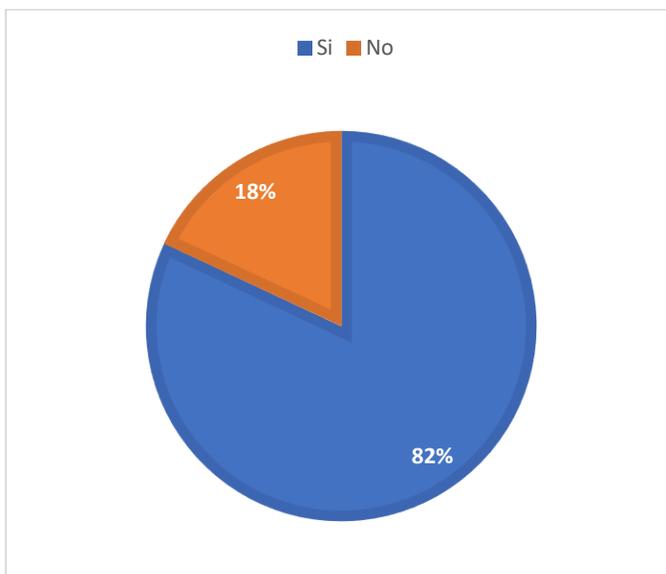
Fuente: Elaboración propia.

Así, las especies más utilizadas por los habitantes es el Ñirre y la Lenga, con un 48,8% y 43,8%.

#### Percepción sobre el uso de la energía térmica en el hogar

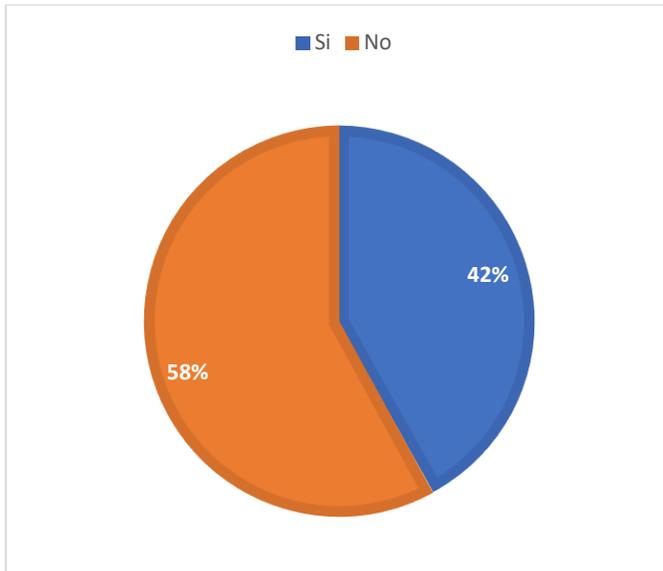
Con el objetivo de levantar información cualitativa sobre el uso de la energía para la calefacción, se realizaron 4 consultas a los habitantes de Cochrane. De esta forma se logró levantar información sobre la percepción de satisfacción actual del sistema de calefacción, relación económica con el uso de la energía, eficiencia del sistema de calefacción y percepción de contaminación intradomiciliaria de los habitantes de Cochrane. Así, en las siguientes figuras se presentan los resultados:

**Figura H.4. ¿Está satisfecho con su actual sistema de calefacción?**



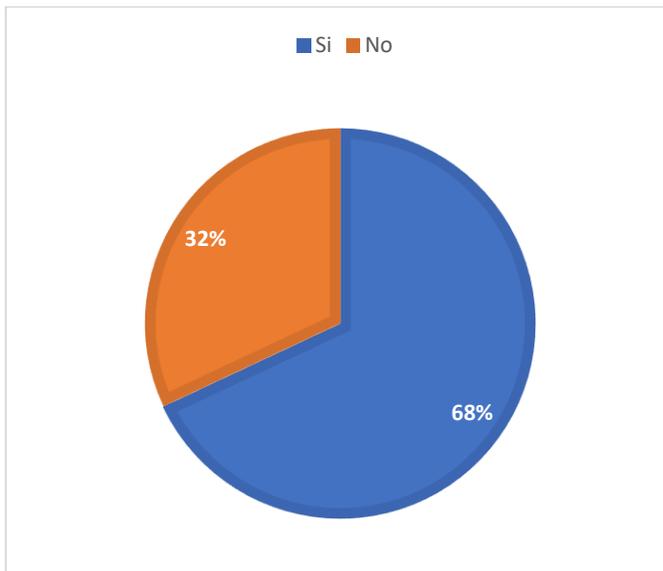
Fuente: Elaboración propia.

Figura H.5. ¿Limita el uso de calefacción por motivos económicos?



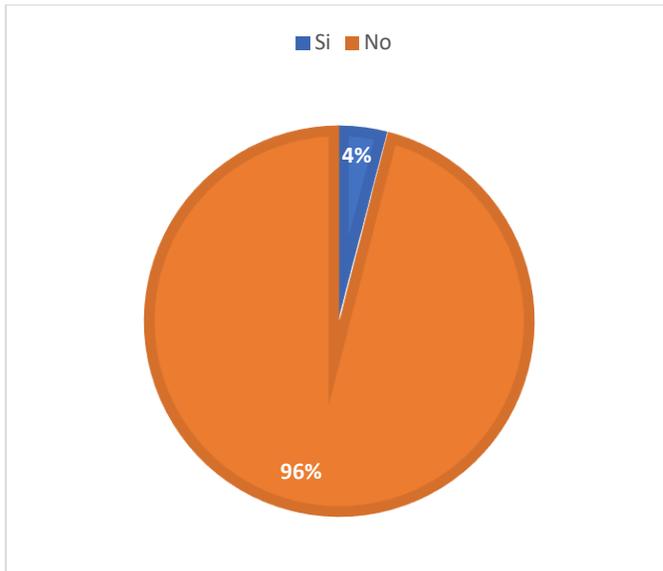
Fuente: Elaboración propia.

Figura H.6. ¿Logra calefaccionar toda su vivienda con el equipo actual?



Fuente: Elaboración propia.

Figura H.7. ¿Su sistema de calefacción genera contaminación dentro de la vivienda?



Fuente: Elaboración propia.

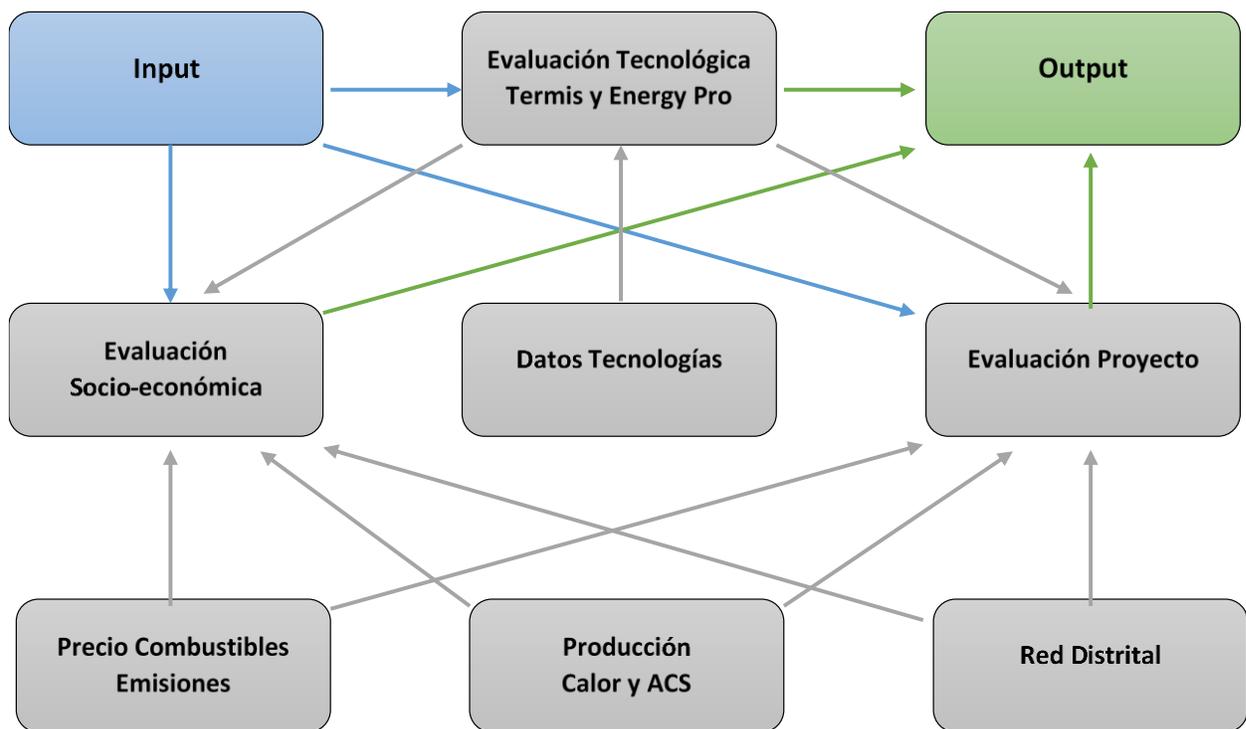
De estos datos se desprende que un alto porcentaje está satisfecho con su actual sistema de calefacción, un 82%. El 42% de los encuestados declaran que en su vivienda se limita el uso de la calefacción por motivos económicos. Un 32% de los encuestados declara que no alcanza a calefaccionar toda su vivienda con su actual sistema de calefacción. Por último, el 96% declara que no percibe contaminación dentro de su vivienda.

## Actividad 2: Analizar la prefactibilidad de la implementación del proyecto de calefacción distrital

Para poder comprender de mejor manera la metodología a utilizar para desarrollar correctamente la actividad 2, se muestran a continuación el diagrama del modelo para evaluar la prefactibilidad técnica-económica, tecnológicamente y pública-económicamente el proyecto.

El modelo pretende ser una herramienta multipropósito. Este incluye todos los factores relevantes para comparar y proponer una planificación de calefacción distrital de acuerdo a las condiciones locales. Se espera que los resultados del modelo puedan ser utilizados por los tomadores de decisiones correspondientes, planificadores energéticos, autoridades locales, inversionistas, empresas implementadoras y sociedad civil.

Figura Act. 2. Modelo de evaluación proyecto calefacción distrital.



Fuente: Elaboración propia.



## I) Posicionamiento y dimensionamiento de la planta de calefacción distrital

Como se mencionó en los capítulos anteriores del informe, una gran parte de la demanda de calor de la ciudad está cubierta por estufas de leña, utilizando leña disponible localmente. La combustión de leña en estufas sin ningún filtro de partículas conduce a la emisión de altas cantidades de partículas finas, principalmente MP<sub>2,5</sub>. Para combatir estas altas emisiones, se elaboran diferentes escenarios para establecer un sistema de calefacción distrital, que suministre parcial o totalmente a las viviendas y edificios de mayor demanda térmica en Cochrane.

La alternativa más apropiada para suministrar calefacción distrital a Cochrane, es desde una planta centralizada, ubicada cerca de las demandas anclas de calor. En nuestro caso, se analizaron cinco edificios públicos en Cochrane, que tienen una demanda térmica anual significativa, en comparación con la de las viviendas. Ver detalle de la estimación de la demanda térmica en capítulos C) (para el caso de los edificios) y F) (para el caso de las viviendas). La demanda térmica de la Escuela Teniente Hernán Merino Correa con 1.373 MWh/añual y Nuevo Hospital Lord Cochrane con 1.126 MWh/añual son las mayores entre los edificios públicos analizados. Al mismo tiempo, hay una ubicación al lado del municipio de la ciudad, que está cerca del hospital, donde sería posible utilizar un área de propiedad municipal de hasta 3.300 m<sup>2</sup>. Por lo tanto, desde el punto de vista del suministro, tendría sentido ubicar la planta de calefacción urbana en este lugar.

La capacidad instalada de la planta de calefacción distrital varía dependiendo de la cobertura de la demanda de calor deseada para los diferentes escenarios. Por lo tanto, el área propuesta por la municipalidad, área próxima al municipio, sería suficiente para el establecimiento de una nueva capacidad instalada de producción para dos escenarios, mientras que, en los otros dos restantes, sería necesaria un área mayor. Esto se desarrolla más en los próximos capítulos.

En las condiciones actuales de Cochrane, sería más adecuado instalar un sistema de calefacción distrital en base a calderas de biomasa, que se utilizan para cubrir tanto la carga base como la demanda de calor de carga máxima. Por lo tanto, en todos los escenarios, se supone el establecimiento de tres calderas de biomasa con igual producción de calor. Cada caldera tiene una generación de calor máxima igual a la mitad de la demanda máxima de calor en cada escenario respectivo. Esto se hace para garantizar que incluso cuando haya períodos de interrupción para una de las calderas, los dos restantes puedan cubrir la demanda máxima de calor en cualquier momento, garantizando así la seguridad del suministro. La elección de la tecnología y su tamaño se explica a continuación.



## Descripción de la tecnología y requisitos de área

El tamaño de la planta de calefacción distrital depende en gran medida del número de edificios y viviendas que se conectarán a la red distrital. Las tecnologías consideradas en el análisis son calderas de biomasa, paneles solares térmicos y bombas de calor de absorción. La energía geotérmica podría ser relevante en principio, pero la escala de este proyecto no es suficiente, esto es debido a que el COP de la planta no compensaría si bien reduciría los costos de operación, no compensaría los costos de inversión comparados con una bomba de calor aire-aire. Por lo tanto, no se considera en el análisis. Además, dado que el objetivo principal de este análisis es encontrar soluciones para reducir las emisiones nocivas, las calderas a diésel y gas también se omiten como una alternativa de producción relevante, por el impacto que estas tendrían en términos de gases de efecto invernadero.

### Calderas de biomasa

El establecimiento de calderas de biomasa es una alternativa adecuada para el suministro de energía térmica. Esto se debe principalmente a la abundancia de biomasa disponible localmente, junto con las condiciones subóptimas para establecer otros tipos de unidades de producción. Estas condiciones se detallan más adelante en este análisis.

Las calderas de biomasa pueden funcionar con o sin un filtro de partículas adicional ("filtro de manga"), dependiendo de la reducción deseada de los niveles de emisión. Para cumplir mejor el propósito de este análisis, se propone que las calderas de biomasa incorporan un precipitador electrostático. Además, es posible instalar una bomba de calor de absorción, utilizando el gas de combustión de la combustión de biomasa, aumentando así la eficiencia general de la caldera. Se estima que la eficiencia de una caldera de biomasa que funciona junto con una bomba de calor de absorción es del 105% en relación con el poder calorífico inferior de la biomasa utilizada, que se estima en alrededor de 2.260 kWh/m<sup>3</sup> (lenga<sup>7</sup>). Las calderas de biomasa se abastecerán con lenga o pino local, sin embargo, para efectos de este estudio, se eligió la lenga para realizar los cálculos. La biomasa es un recurso abundantemente y disponible en las cercanías de Cochrane, por lo tanto, es el combustible adecuado para la planta de calefacción distrital.

La operación diaria y el mantenimiento de una planta de calefacción distrital alimentada con biomasa requiere vigilancia física constante. Por lo tanto, el establecimiento de calderas de biomasa en Cochrane tendría más ventajas, ya que crearía hasta cinco puestos de trabajo en la ciudad.

Una planta de biomasa generalmente requiere un área de terreno de aproximadamente 400 m<sup>2</sup>/MW de capacidad instalada de calor<sup>8</sup>. Esta área incluye la caldera, un silo de almacenamiento

---

<sup>7</sup>PCI y densidades de la leña MINER 2015.

<sup>8</sup> Basado en ejemplos daneses de entre otros Egedal District Heating.



de biomasa y un área libre lo suficientemente grande alrededor de la planta, para que los camiones que entregan la biomasa puedan maniobrar en el sitio.

## Paneles solares térmicos

Además de las calderas de biomasa, en el análisis se considera el potencial solar térmico, que es una alternativa sustentable y casi libre de mantenimiento. Los paneles térmicos solares pueden funcionar a temperaturas en ambos extremos, cuando estos están diseñados adecuadamente. Son ampliamente utilizados en grandes instalaciones para sistemas de calefacción urbana en algunos países europeos, como por ejemplo en Dinamarca<sup>9</sup>. Como los paneles solares en general dependen de la radiación solar, las plantas de calefacción distrital generalmente necesitan unidades de generación de calor adicionales, para cubrir la demanda de calor cuando hay una producción de calor solar insuficiente o nula. Por lo tanto, los paneles térmicos solares son adecuados como una unidad de producción de energía térmica complementaria, mientras que todavía existe la necesidad de una producción de energía térmica primaria.

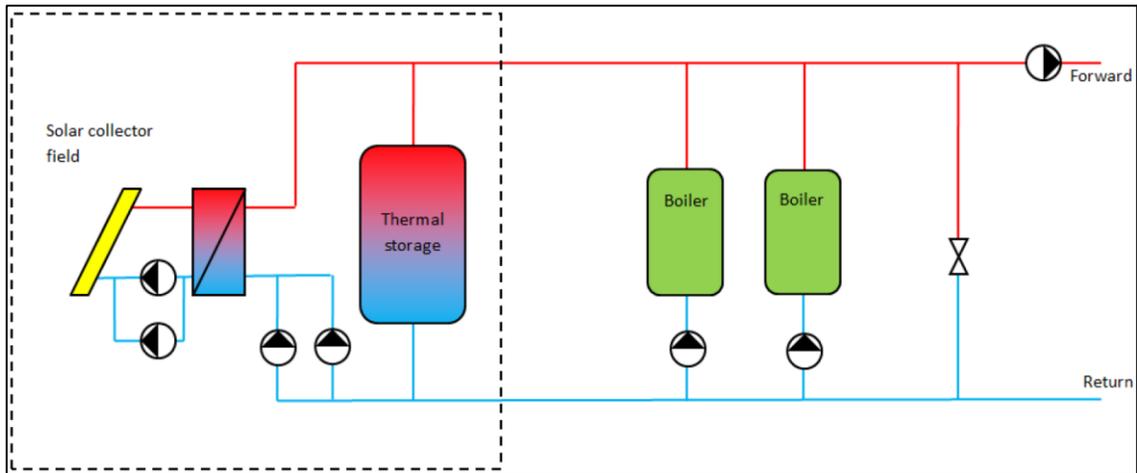
Un sistema de calefacción solar distrital típicamente tiene filas de paneles solares térmicos conectados entre sí. Una bomba de circulación crea un flujo de una mezcla de glicol a través de los paneles, que se calienta a la temperatura deseada, generalmente igual a la temperatura de salida de la red de calefacción. Una vez que el líquido se calienta, pasa a través de un intercambiador de calor de placas, calentando el agua del circuito de calefacción del proceso.

Como se mencionó anteriormente, la operación de los campos colectores solares está limitada por la radiación solar, lo que puede conducir a una sobreproducción en relación con la demanda de calor en ciertos momentos. Por lo tanto, los sistemas de calefacción solar generalmente se combinan con un almacenamiento térmico, p. tanque de agua caliente o un almacenamiento de pozo térmico estacional. El almacenamiento puede conservar el calor para su uso posterior, siempre que haya un déficit en la demanda de calor, en relación con la producción de calor. Los tanques de agua caliente pueden almacenar calor durante un tiempo limitado, mientras que los almacenamientos térmicos en pozos pueden almacenar calor estacionalmente, asegurando una mayor fracción solar en relación con la demanda de calor durante todo el año. El proceso de operación de un sistema solar térmico junto con un almacenamiento térmico se muestra en la figura inferior.

---

<sup>9</sup> Un ejemplo de Dronninglund, Dinamarca: <http://arcon-sunmark.com/cases/dronninglund-district-heating>

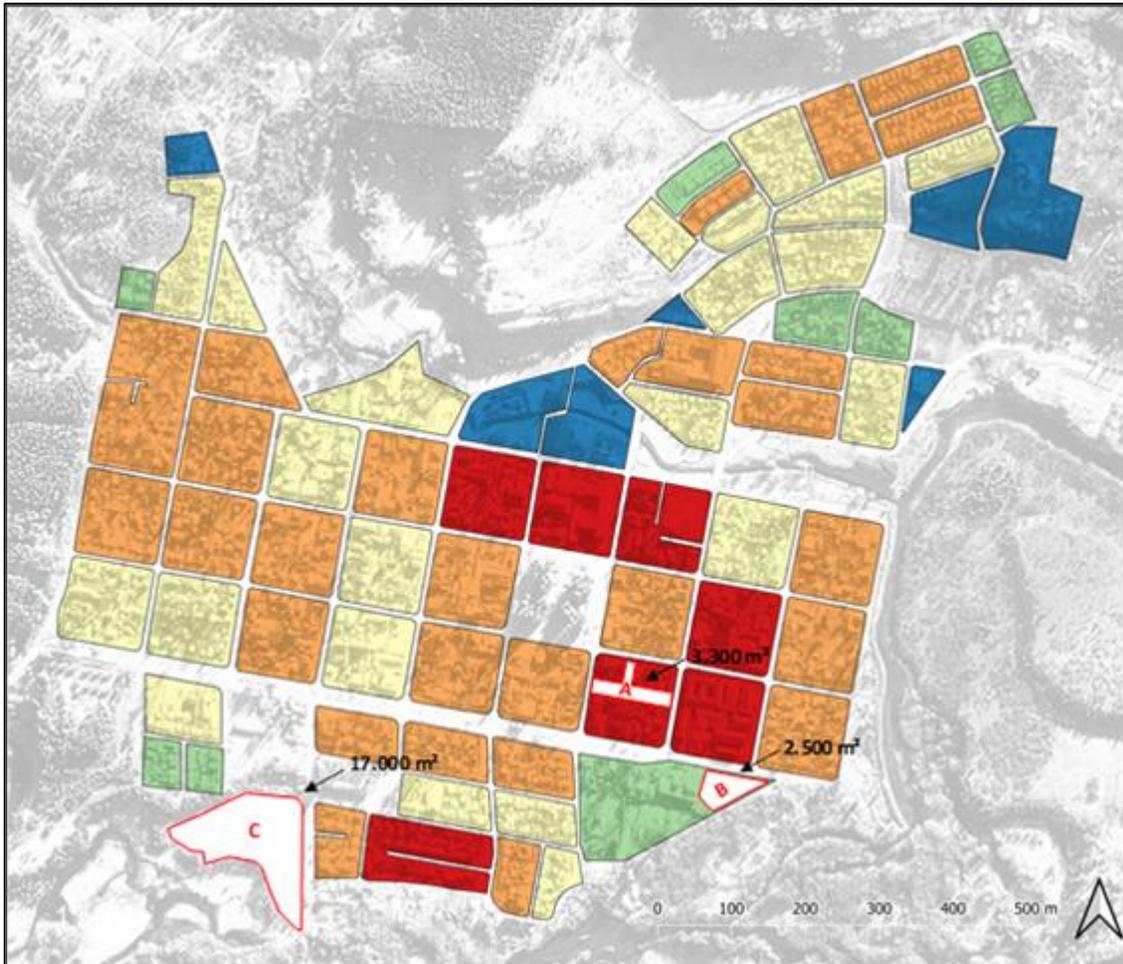
Figura I.1. Proceso de operación de un sistema de calefacción solar.



Fuente: PlanEnergi.

Teniendo en cuenta el tamaño de Cochrane y de un posible sistema de calefacción urbana, el establecimiento de un almacenamiento térmico no es una opción viable para este análisis. El análisis de áreas alrededor de la ciudad muestra que solo hay unos pocos lugares donde se podría establecer un campo solar térmico. Estas ubicaciones se muestran en la figura inferior. Un campo solar térmico generalmente requiere un área terrestre igual a tres veces su área total, para asegurar el espacio necesario entre las filas de colectores solar térmico, que están inclinados en un cierto ángulo con respecto al sol. Por ejemplo, un campo solar térmico con un área de 5.000 m<sup>2</sup> requeriría un área de tierra de al menos 15.000 m<sup>2</sup>.

Figura 1.2. Disponibilidad de área para el establecimiento de calefacción urbana.



Fuente: elaboración propia (Fundación Energía Para Todos).

Como se ve en la figura superior, hay un área cercana a la ubicación esperada de la planta de calefacción distrital, es la ubicación B. Sin embargo, esta área es de 2.500 m<sup>2</sup>, lo que solo permitiría el establecimiento de un campo solar térmico de aproximadamente 800 m<sup>2</sup>. Teniendo en cuenta que la planta se establecería cerca del hospital (ubicación A), solo hay una ubicación adecuada para el establecimiento de un campo solar térmico relativamente grande, que es la ubicación C.

Según información otorgada por la municipalidad, el terreno indicado en la figura inferior sería el lugar ideal para instalar la central de calefacción distrital. Dicho terreno se encuentra ubicado frente a la plaza de la ciudad. Además, este lugar se encuentra al lado del hospital que es una importante demanda ancla para la ciudad.

Figura 1.3. Ubicación central de calefacción distrital (ubicación A).



Nota: El perímetro en rojo representa el terreno municipal donde se instalará la central de calefacción distrital. El perímetro en naranja representa bodegas tipo media aguas que en teoría podrían ser removidas sin dificultad.

Fuente: Google Maps.

El área total del terreno es de  $3.750 \text{ m}^2$  ( $100\text{m}$  largo x  $37.5 \text{ m}$  ancho), donde el área que se podrá disponer para la instalación de la caldera es de  $675 \text{ m}^2$ .

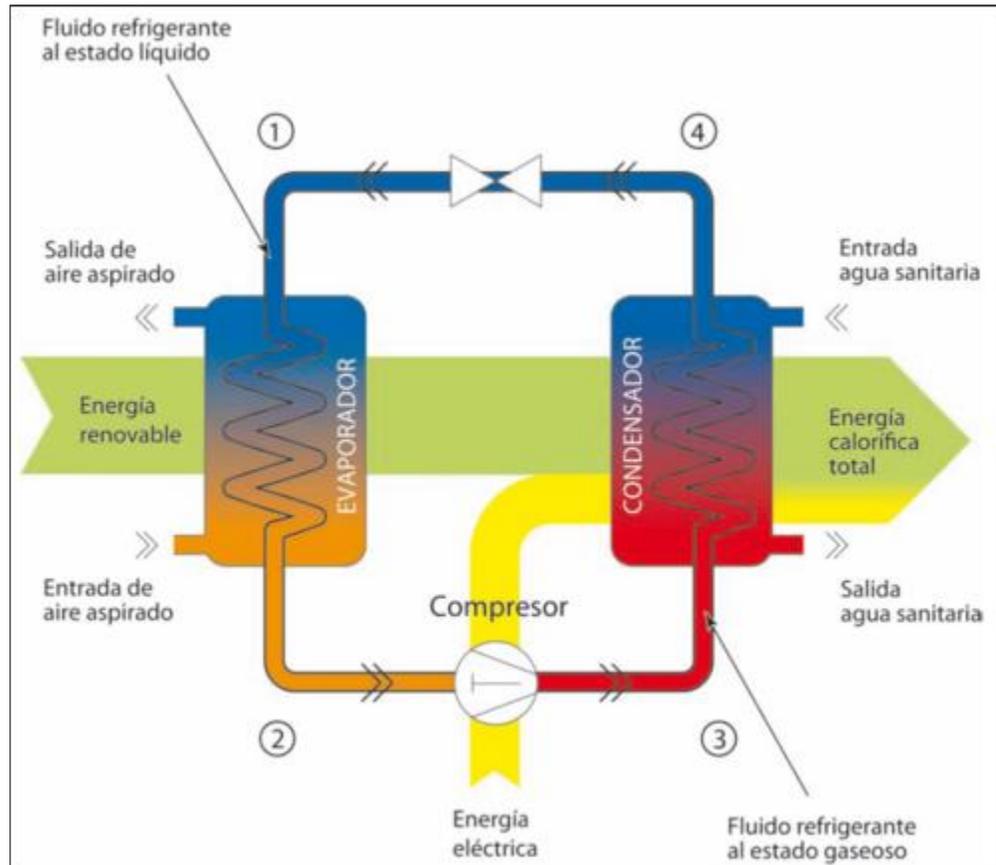
En términos de la normativa, según la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, el sitio cuenta con la factibilidad para emplear un proyecto de generación de energía térmica en dicho espacio. Esto, pues el Artículo 2.1.29, que define la infraestructura energética, indica que “las redes de distribución, redes de comunicaciones y de servicios domiciliarios y en general los trazados de infraestructura se entenderán siempre admitidos y se sujetarán a las disposiciones que establezcan los organismos competentes”, donde para el caso de Cochrane, que no tiene un plan regulador, y tampoco existe un plan regulador intercomunal, se entenderá como un área rural, donde no existe disposición que excluya la posibilidad de generar energía térmica y su respectiva distribución.

#### Bombas de calor

Las bombas de calor (BC) transfieren calor de una ubicación de baja a alta temperatura. El calor utilizado por las BC generalmente se extrae de fuentes tales como; acuíferos, aire o tierra), y mediante un ciclo cerrado, se genera calor. Las bombas de calor pueden ser de compresión (usando electricidad) o absorción (usando calor). En este análisis, solo se consideran las bombas de calor de compresión para producir calefacción urbana.

Las bombas de calor se pueden utilizar para sistemas de calefacción individual o calefacción distrital. Las bombas de calor de compresión consisten en; un condensador, un evaporador, un compresor y una válvula de expansión, y pueden producir aproximadamente de dos a cinco veces la electricidad de entrada, conocida también como el coeficiente de rendimiento (COP). El COP depende de la temperatura de suministro en el sistema de calefacción de distrito. Cuanto más se necesita elevar la temperatura, más baja es la COP. Otro factor clave en el rendimiento de las bombas de calor del compresor es la diferencia de temperatura entre la fuente de calor y la descarga. En la figura inferior se puede ver una explicación del principio de funcionamiento de una bomba de calor.

Figura I.4. Una explicación del principio de funcionamiento de una bomba de calor del compresor.<sup>10</sup>



En términos de necesidad de equipos auxiliares, las bombas de calor generalmente no requieren un tanque de almacenamiento propio, ya que la producción puede sincronizarse con la demanda de calor. Sin embargo, si se establece junto con paneles solares térmicos, sería económico y operacionalmente beneficioso para la bomba de calor utilizar el tanque de almacenamiento

<sup>10</sup><https://www.gasfriocalor.com/blog/aeroterminia/diferencias-entre-bomba-de-calor-aire-agua-y-aire-aire>



existente. Además, las bombas de calor no emiten sustancias nocivas al medio ambiente durante su funcionamiento, si se usan refrigerantes inofensivos (naturales) que reemplazan refrigerantes nocivos tales como el amoniaco. Dependiendo de la fuente de generación eléctrica, puede resultar ser negativo o positivo el impacto de las bombas de calor en términos de gases de efecto invernadero. El único requisito previo para el funcionamiento de las bombas de calor de compresión es contar con un potencial suficiente de la fuente, por ejemplo, agua subterránea, aire, etc.

En este análisis, se consideran las bombas de calor de compresión aire-agua. El uso del aire como fuente de calor produce un COP estacional relativamente bajo, debido a las numerosas fluctuaciones en las temperaturas del aire durante todo el año. No obstante, el aire es la fuente más confiable, y una bomba de calor aire-agua tiene los costos de inversión más bajos, debido a la relativa simplicidad del sistema.

Una bomba de calor aire-agua generalmente tiene requisitos espaciales de alrededor de 100 m<sup>2</sup> / MW de calor. Esto incluye el edificio que alberga la bomba de calor, donde se instalan el compresor y el equipo adicional, junto con espacio suficiente para el patio del enfriador de aire de la bomba de calor.

### Combinaciones tecnológicas

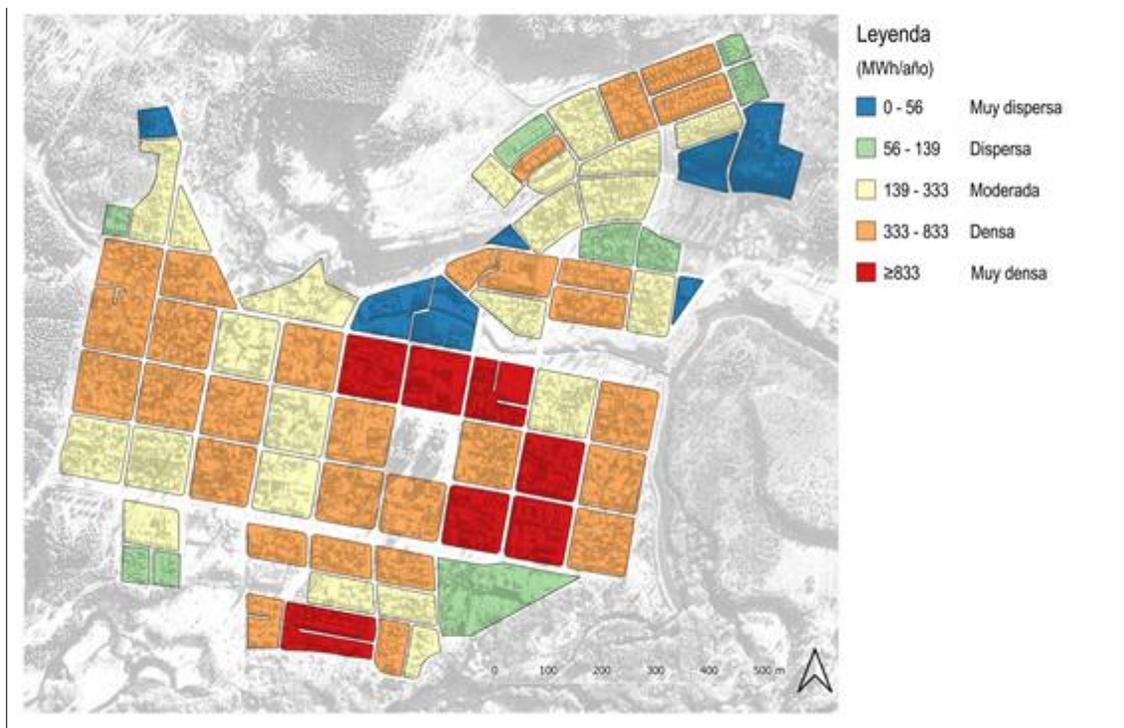
Las diferentes unidades de producción descritas en el capítulo anterior se pueden combinar entre sí, para proporcionar la solución más económica y ambientalmente viable. Una posibilidad sería combinar una caldera de biomasa con paneles solares térmicos, donde este último cubre la mayor parte de la demanda de energía térmica durante el verano, mientras que el primero asegura el suministro de esta durante el resto del año. Otra alternativa posible sería combinar una bomba de calor de compresión con una caldera de biomasa. La bomba de calor funcionaría entonces como una unidad de producción de carga base, complementada por la caldera de biomasa en momentos de demanda máxima de calor y en períodos con altos precios de la electricidad.

Es importante señalar que CONAF cuenta con una caldera a biomasa de 150kW de potencia. Sin embargo, debido a la baja capacidad de esta caldera, no fue incorporada en el diseño del sistema distrital. Hay que tener presente que la planta operaría con 3 calderas de igual capacidad, he igual a la mitad de la demanda peak del sistema (ocurrída durante los meses de invierno). Se debe considerar una de las 3 calderas en modo “stand by”, esto permitirá seguir generando energía térmica, cuando se realiza mantención programada o correctiva (en caso de falla de alguna caldera) de alguna caldera. Por ejemplo, el escenario 1 (demanda térmica edificios públicos) contempla 3 calderas de 500 kW cada una, la demanda peak del sistema es de 900 kW, ante un escenario probable que: 1) ocurra una “helada” se logre alcanzar esta demanda peak y 2) simultáneamente una caldera se encuentre inhabilitada debido a una falla, las dos calderas restantes (2x 500kW) pueden cubrir el peak de demanda, esto no se podría lograr con una caldera de menor capacidad, tal como la caldera de CONAF.

## Descripción de escenarios

Las estimaciones de la demanda de calor en Cochrane, que se determinaron en la sección anterior, se utilizan para modelar los diferentes escenarios. La metodología divide los edificios de la ciudad en bloques (manzanas) y evalúa la densidad de calor de cada bloque. Un mapa de densidad de calor de Cochrane se puede ver en la figura inferior.

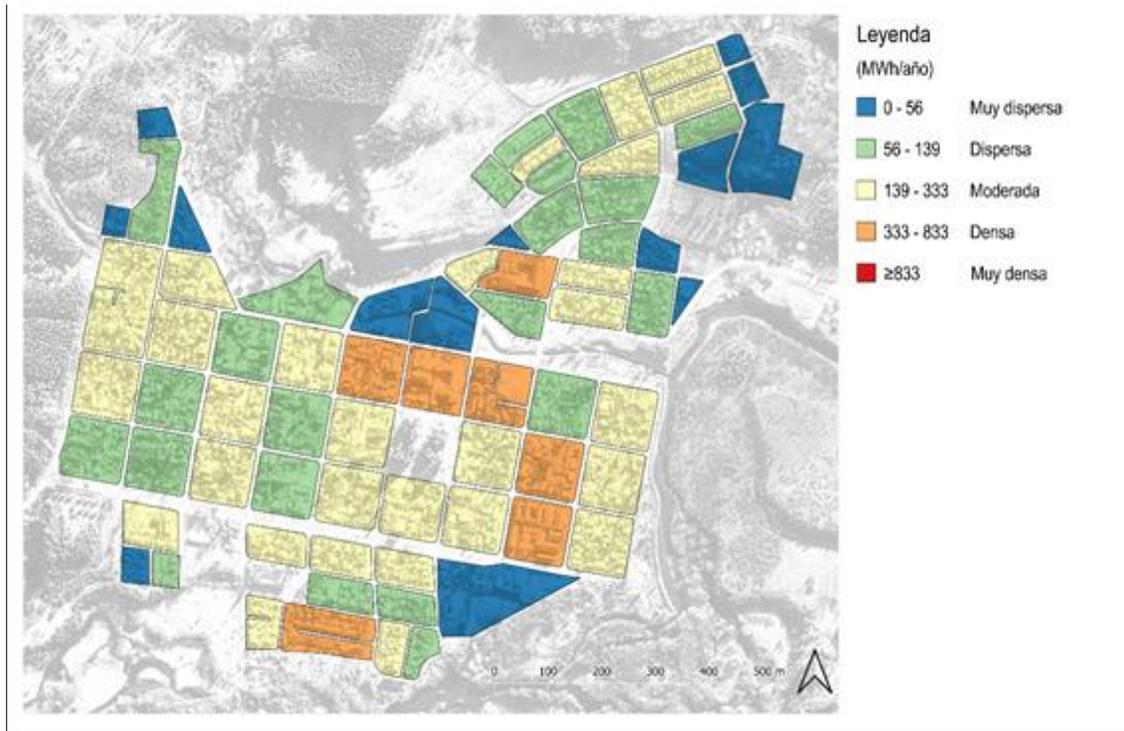
Figura I.5. Mapa de densidad de calor de Cochrane.



Fuente: elaboración propia (Fundación Energía Para Todos).

El análisis toma su punto de partida en un escenario que se parece lo más posible a la situación actual en Cochrane. Este escenario, figura superior, se utiliza como línea base, con el cual se comparan los escenarios para el establecimiento de calefacción distrital. Además, se modela un escenario alternativo, donde todos los edificios de la ciudad se acondicionan térmicamente de acuerdo al estándar del PDA de Coyhaique, lo que reduce la demanda de calor alrededor 2,5 veces. Un mapa que muestra la densidad de calor en este escenario es visible en la figura inferior.

Figura 1.6. Mapa de densidad de calor de Cochrane en un escenario de adaptación.



Fuente: Elaboración propia (Fundación Energía Para Todos).

Los escenarios para el establecimiento de calefacción distrital difieren principalmente en el número de manzanas conectadas a la red. Los escenarios abarcan desde la conexión de los cinco edificios públicos hasta la conexión de casi todas las cuadras de la ciudad, excluyendo las dos categorías con menor densidad de calor, muy dispersa y dispersa que representan menos del 5% de la demanda térmica total de Cochrane. Los diferentes escenarios son los siguientes:

5. Línea de base: El suministro de calor individual actual en Cochrane.
  - 5.1 Acondicionamiento térmico: Todos los edificios de la ciudad y viviendas se acondicionan térmicamente de acuerdo al estándar del PDA de Coyhaique, lo que reduce considerablemente la demanda térmica.
6. Escenario 1: Conexión de los cinco edificios públicos a la red de calefacción distrital (14% de la demanda térmica total).
7. Escenario 2: Como el escenario 1, más cuatro manzanas restantes con una densidad de calor muy alta (32% de la demanda térmica total).
8. Escenario 3: Como el escenario 2, más todas las manzanas con alta densidad de calor, que son fáciles de conectar a la red (66% de la demanda térmica total).



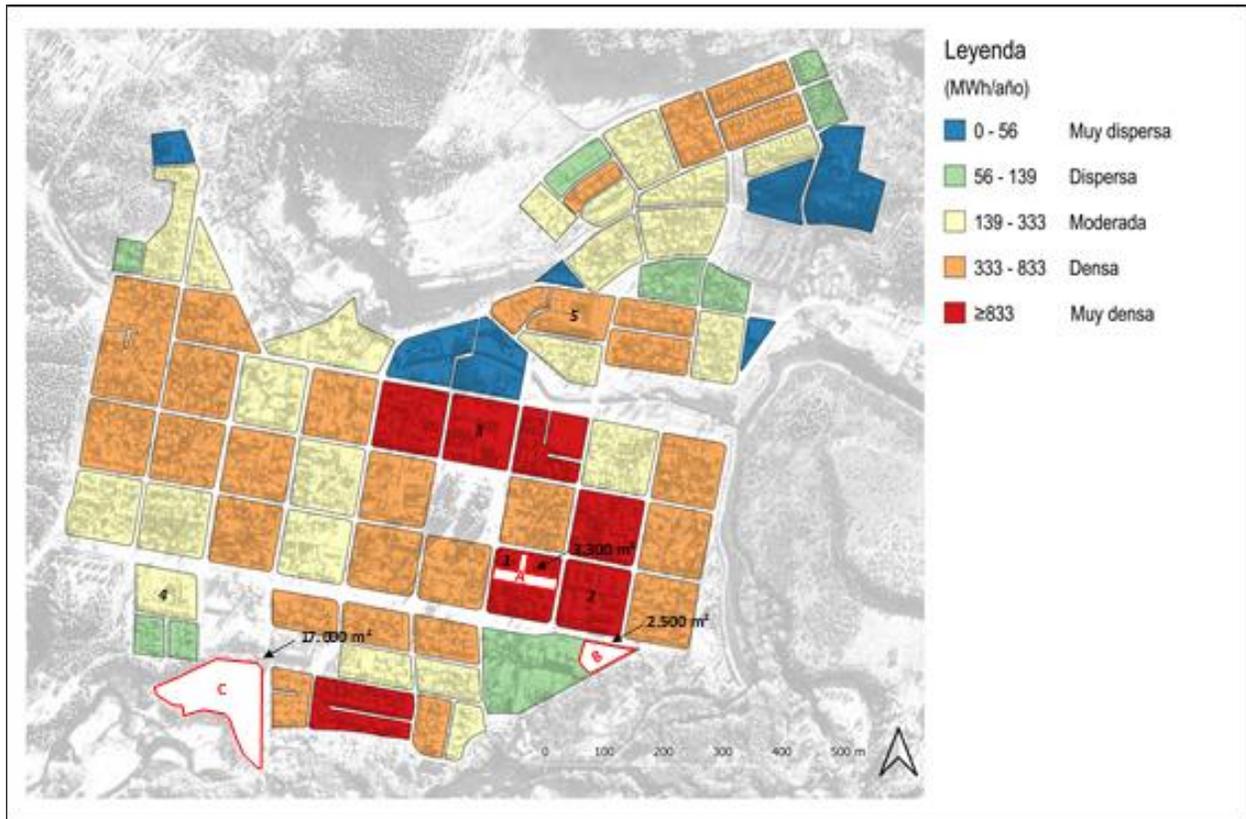
9. Escenario 4: Todas las manzanas, excepto las dos categorías de bloques con menor densidad de calor (dispersa y muy dispersa), por lo que este escenario cubre alrededor del 96% de la demanda total de calor.

A continuación, se elaboran detalladamente los diferentes escenarios. Cabe señalar que la combinación de establecer una red de calefacción distrital con el acondicionamiento térmico de algunos o todos los edificios no se considera en este análisis. Sin embargo, podría ser una opción relevante para la reducción de emisiones de material particulado y debería considerarse en una tapa de evaluación futura.

Todos los escenarios se comparan entre sí en el siguiente capítulo en términos de impacto ambiental, así como de viabilidad comercial y económica.

Como se ve en la figura inferior, se supone que los cinco edificios públicos están conectados a la red de calefacción distrital en el Escenario 1. Estos son la municipalidad (1), el Nuevo Hospital Lord Cochrane (2), Escuela Teniente Hernán Merino Correa (3), el Jardín Infantil mi Baker (4) y el Liceo Austral Lord Cochrane (5) Es importante tener en cuenta que los edificios restantes en las manzanas 1 y 4 no están conectados a la red distrital en este escenario.

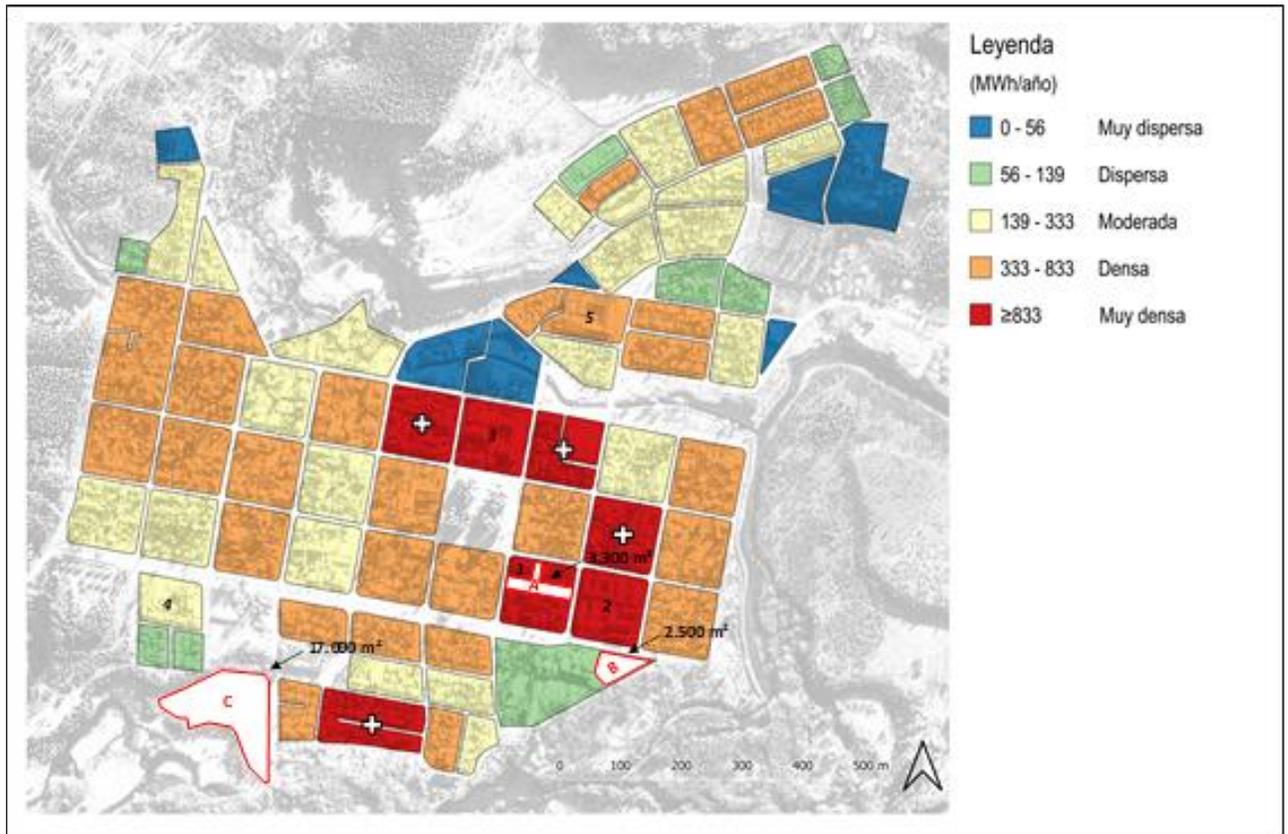
Figura I.7. Escenario 1, planta de calefacción distrital en la ubicación A.



Fuente: Elaboración propia (Fundación Energía Para Todos).

El Escenario 2 toma como punto de partida el Escenario 1. Además de eso, supone la conexión de los edificios restantes en las manzanas del municipio y el jardín infantil. Además, las cuatro manzanas restantes con una densidad de calor muy alta son conectados a la red distrital en este escenario. Una representación gráfica del Escenario 2 se ve en la figura inferior.

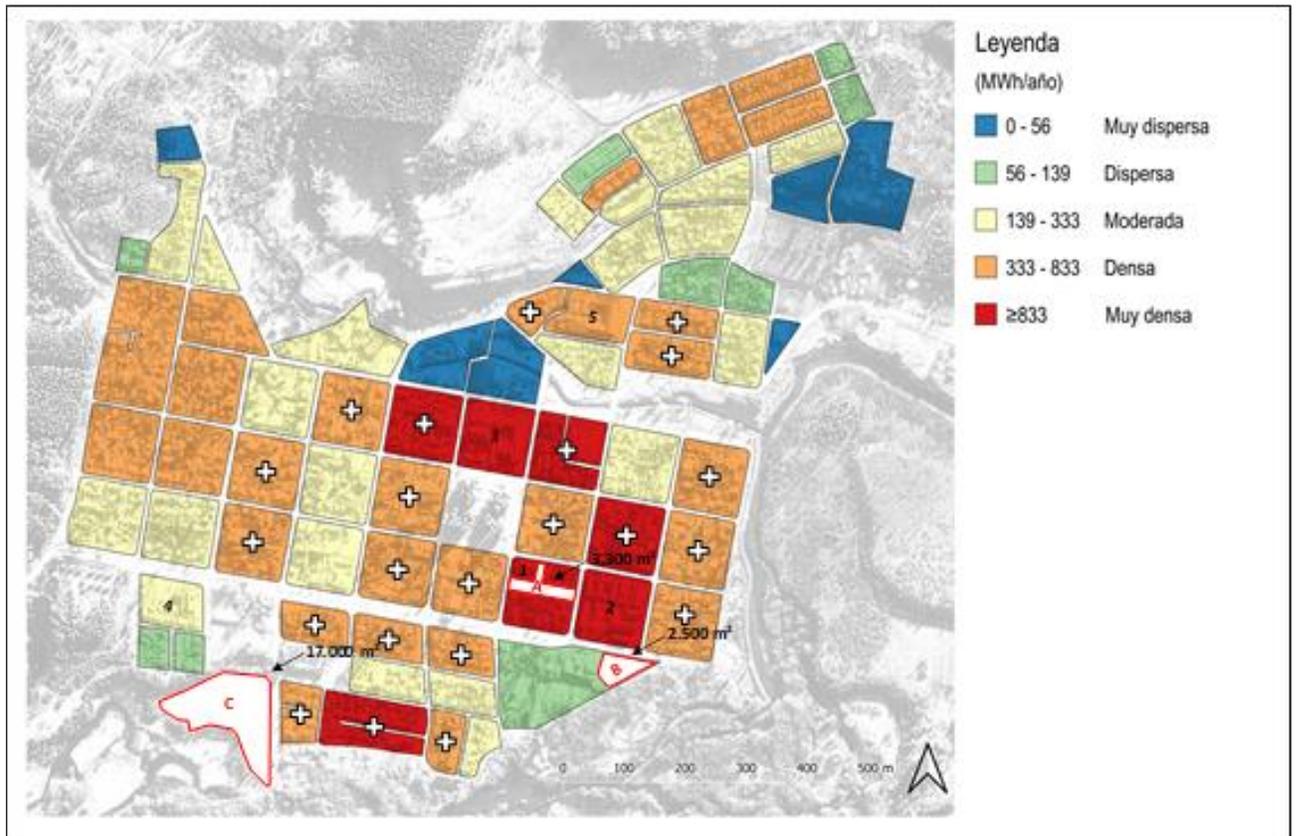
Figura I.8. Escenario 2, planta de calefacción urbana en la ubicación A



Fuente: Elaboración propia (Fundación Energía Para Todos).

El escenario 3 supone la conexión de todas las manzanas que están cerca de las tuberías de distribución principales en el Escenario 2. Los tamaños de estas tuberías naturalmente tendrían que incrementarse para incorporar un mayor número de conexiones. Además, se debería establecer una red de distribución adicional para permitir la conexión de las manzanas deseadas. Esto se detalla en el próximo capítulo. Todas las manzanas conectadas a la red distrital en el escenario 3, se pueden ver en la figura inferior.

Figura I.9. Escenario 3, planta de calefacción urbana en la ubicación A y B.

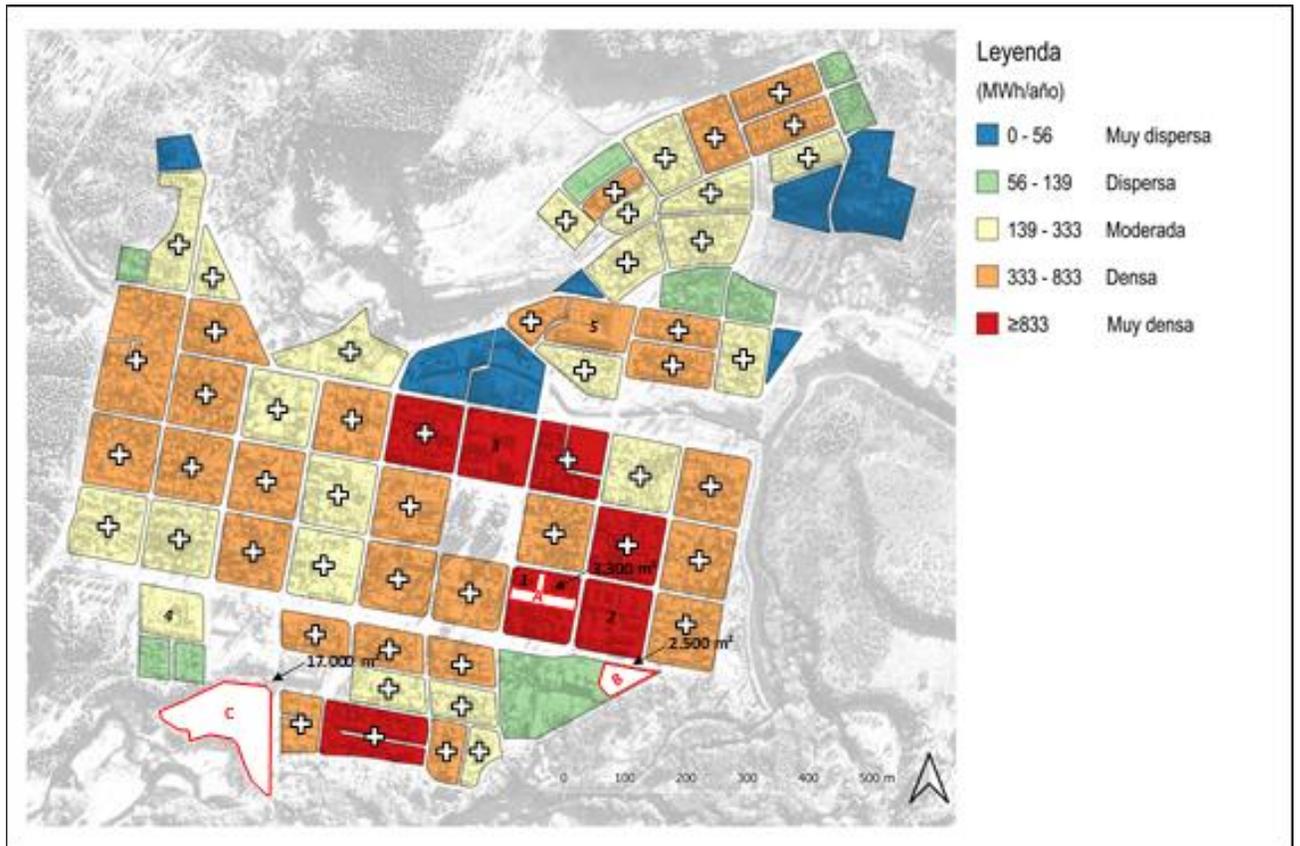


Fuente: Elaboración propia (Fundación Energía Para Todos).

Nota: A partir de este escenario es necesario contar con al menos una declaración de impacto ambiental.

Por último, el escenario 4 supone la conexión de casi toda la ciudad de Cochrane a la red distrital. Las únicas manzanas que quedan fuera son los que tienen una densidad de demanda de calor dispersa o muy dispersa, ver figura inferior.

Figura I.10. Escenario 4, planta de calefacción distrital en la ubicación A y B.



Fuente: Elaboración propia (Fundación Energía Para Todos).

La tabla inferior muestra una descripción general de la demanda térmica total, junto con el porcentaje de cobertura de la red de calefacción distrital en cada escenario. Cabe señalar que las pérdidas de calor en relación con el suministro de calefacción distrital, no se consideran en esta tabla, pero si se contabilizan en el análisis del punto K).

Tabla I.1. Cobertura de la red de calefacción distrital en los diferentes escenarios.

Escenario		1	2	3	4
Estufas a leña, viviendas	MWh/año	25.103	20.308	10.703	1.361
Calefacción distrital	MWh/año	3.727	8.522	18.127	27.469
<b>Producción de calor total</b>	<b>MWh/año</b>	<b>28.830</b>	<b>28.830</b>	<b>28.830</b>	<b>28.830</b>
Calefacción individual, viviendas	%	87%	70%	37%	5%
Calefacción distrital	%	13%	30%	63%	96%
Número de viviendas conectadas a red distrital	Cantidad	0	140	411	682

Fuente(s): Elaboración propia

Una explicación detallada respecto al dimensionamiento de las diferentes unidades de producción, de acuerdo con la demanda de calor de carga máxima y determinar las tecnologías económicamente más viables se realiza en el capítulo I).

#### Método de escenarios

Todos los escenarios elaborados en el capítulo i) se configuran y simulan en el software energyPRO. El software puede generar resultados tanto en términos de producción de energía como en costos de operación. Las simulaciones se realizan con el propósito de investigar las implicaciones que las diferentes tasas de conexión a la red de calefacción distrital tendrían, respecto a la producción de energía y la economía del sistema distrital recientemente establecido en Cochrane.

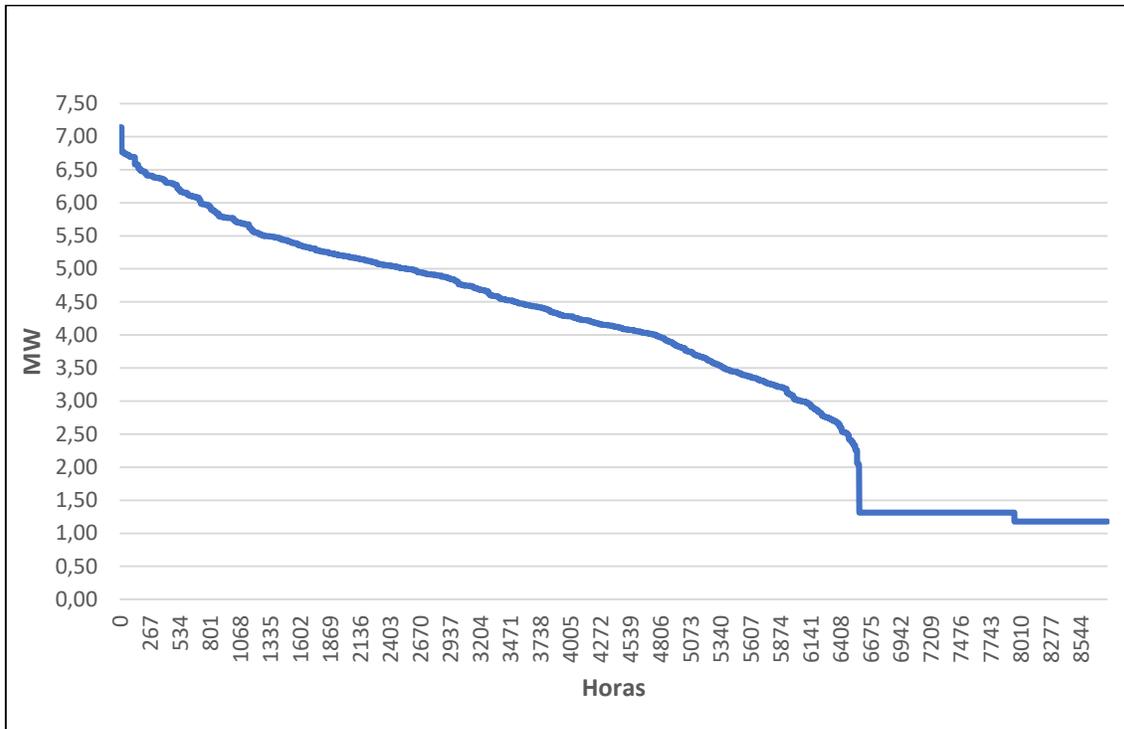
En primer lugar, se establece la identificación del proyecto, donde se asigna un nombre al proyecto y se establece el módulo de cálculo. En este análisis, todos los escenarios se calculan en el módulo DISEÑO, que calcula la conversión de energía y la economía de operación para un año específico (referencial).

Posteriormente, se definen las series temporales en los escenarios. Consisten en que los datos varían de forma bianual, tales como; las temperaturas de salida y retorno de la red distrital por hora, temperatura ambiente, etc. Así como también la demanda térmica ya estimada en las secciones D) y F). La demanda de calor consiste en una fracción de día grado independiente (DGI) y la fracción dependiente de día grado (DGD). El DGI explica las pérdidas de calor en el sistema junto con la energía térmica utilizada para proporcionar agua caliente sanitaria a los consumidores, es decir para lavamanos, lavadora, ducha, etc. En otras palabras, el DGI es la fracción de la demanda que no depende de las condiciones climáticas tales como; radiación solar y temperatura ambiente. La fracción DGD se establece en 80% en todos los escenarios, teniendo en cuenta las pérdidas de calor promedio y la demanda de agua caliente de los edificios y viviendas.

Luego, la demanda de calor recibe una variación diaria estándar, con más calor requerido por la mañana y por la noche, ya que la mayoría de las viviendas en Cochrane son hogares particulares, y se supone que las personas están fuera durante el día realizando actividades laborales. EnergyPRO calcula la demanda máxima de calor utilizando una dependencia de grados días y una temperatura

ambiente de referencia, que se establece en 15 ° C. La curva de duración para la demanda de calor en el Escenario 4, se muestra en la figura inferior.

Figura I.11. Curva de duración de la demanda de calor - Escenario 4.



Fuente(s): Elaboración propia

Luego se definen las unidades de producción de energía y combustibles. Los combustibles pueden ser preseleccionados desde el programa o definidos por el usuario en función de los cálculos del Poder Calorífico Inferior (PCI). Por ejemplo, la lenga tiene un PCI de 2.260 kWh / m<sup>3</sup>. Los parámetros relevantes del modelo fueron suministrados por la contraparte.

Una vez que se configura el sistema, se selecciona la estrategia de operación en cada escenario, priorizando una determinada unidad o no. Para cumplir con el propósito de este análisis, se modelan calefacción individual vs distrital.

Finalmente, se integran los datos para estimar los costos de operación de los escenarios. Los costos de operación incluyen el/los combustibles utilizado en los escenarios, impuestos sobre las diferentes unidades de producción de energía (IVA), junto con los costos de operación y mantenimiento para todas las unidades, ver resumen en la tabla inferior.

**Tabla I.2. Parámetros para modelos en energyPRO.**

Item	Unidad	Valor
<b>Eficiencia</b>		
Estufas a leña, viviendas	%	60
Caldera a biomasa, edificios públicos	%	77
Caldera a biomasa, planta calefacción distrital	%	105%
<b>Costo combustibles, IVA incl.</b>		
Lenga, viviendas	\$/m <sup>3</sup>	37.879
Lenga, municipal	\$/m <sup>3</sup>	63.106
Electricidad (bombas de calor) AT4.3	\$/MWhel	131.100
<b>Costos O&amp;M</b>		
Lenga, viviendas	\$/m <sup>3</sup>	1.994
Lenga, municipal	\$/m <sup>3</sup>	9.678
Campo solar térmico	\$/MWh <sub>t</sub>	800
Bombas de calor	\$/MWh <sub>t</sub>	3.000

Fuente(s): Elaboración propia

Según los datos presentados en la tabla anterior, energyPRO calcula los costos netos de producción de calor para todas las unidades de producción, ver tablas inferiores. Los requisitos previos detallados para los cálculos en energyPRO son visibles en el Anexo I.

**Tabla I.3. Costos netos de producción de calor para las diferentes tecnologías.**

Costos de producción neta de calor	\$/MWh <sub>t</sub>
Calefacción individual	29.405
Calderas públicos	41.825
Calderas biomasa calefacción distrital	30.670
Bombas de calor calefacción distrital	48.695
Campo solar térmico	800

Fuente(s): Elaboración propia

La tabla superior muestra que aparte de los paneles solares térmicos, es más barato para los ciudadanos de Cochrane continuar usando calefacción individual. Fuera de las alternativas para el suministro de calefacción distrital, es mucho más barato operar calderas de biomasa que las bombas de calor, esto es debido a la alta tarifa eléctrica en Cochrane, AT 4.3 131,1 \$/kWh. Sin embargo, debido gran al tamaño de este proyecto el administrador del proyecto (municipalidad u otro) pueden optar a ser clientes libres, esto permitirá negociar una mejor tarifa con Edelaysen.



### Elección de tecnología

Teniendo en cuenta los parámetros mostrados anteriormente, el funcionamiento de una bomba de calor eléctrica no sería factible, aunque interesante de investigar en detalle ante una eventual factibilidad del proyecto, esto se debe a los altos precios de la electricidad en Cochrane. A este nivel de precio de la electricidad, la bomba de calor sería competitiva con la caldera de biomasa distrital, cuando opera con un 5 COP. Un COP alto (5 o mayor), para una bomba de calor aire-agua, estaría directamente relacionado a altas temperaturas ambientales en Cochrane, que es el caso de muy pocas horas durante todo el año. Por lo tanto, las bombas de calor se descartan para este estudio, sin embargo, si se deben considerar en un análisis futuro debido a la posibilidad de negociar una tarifa directamente con Edelaysen.

Se recomienda evaluar la disponibilidad de otras fuentes de calor tales como agua subterránea, calor de procesos industriales, etc. Que puede tener un COP más alto que un sistema basado en aire, asegurando así un COP más alto, esto podría hacer que la operación de las bombas de calor sea más barata. Es importante tener en cuenta que las bombas de calor que funcionan con diferentes fuentes de calor, por ejemplo, que usan aguas subterráneas son más baratas de operar, pero generalmente tienen mayores costos de inversión, debido a la mayor complejidad del sistema. Por lo tanto, sería esencial calcular si los ahorros de operación resultantes debido al aumento del COP compensan los costos de capital en comparación con los de un sistema basado en aire. En caso de que lo hagan, puede resultar económicamente factible instalar bombas de calor utilizando una fuente de calor diferente del aire.

Otra posibilidad, que debería investigarse, es acordar una tarifa eléctrica preferencial para la producción de calor de las bombas de calor. Con los precios actuales de la biomasa, y con la fuente de calor actual para la bomba de calor, sería necesaria una tarifa de electricidad de 80.000 \$/MWh (80 \$/kWh) o menos, para que la bomba de calor sea competitiva con las calderas de biomasa.

Cualquiera de esos enfoques, o los dos combinados, podrían dar como resultado una operación más rentable de las bombas de calor, convirtiéndolas en una alternativa viable en un estudio futuro.

Como se muestra en la tabla I.2, los paneles solares térmicos son muy baratos de operar, ya que no tienen ningún costo de combustible y casi no requieren mantenimiento. El único problema relacionado con el establecimiento de paneles solares térmicos en Cochrane es la disponibilidad del área terrestre. Como se ve en la figura I.2, solo hay una ubicación adecuada para el establecimiento de un campo solar térmico cerca de la planta de calefacción distrital. Esta ubicación (C), tiene un área de aproximadamente 17,000 m<sup>2</sup>, lo que permite el establecimiento de un campo solar térmico con un área de aproximadamente 5,000 m<sup>2</sup>. Esto se debe a que también debe haber suficiente espacio construcciones necesarias para el campo solar térmico y el tanque de almacenamiento térmico.

Como la energía solar térmica no puede cubrir la demanda de calor de carga base durante todo el año, y hay una limitación de cuán grande puede ser el campo, su viabilidad económica se evalúa como una alternativa a uno de los escenarios principales. Esto se desarrolla más en el capítulo I).

Con los supuestos actuales, las calderas de biomasa presentan la solución más factible como tecnología de carga base para la planta de calefacción distrital. Esto significa que las calderas de biomasa necesitarían suministrar calor de carga base, al tiempo que tienen una capacidad lo suficientemente alta como para cubrir la demanda máxima en los meses de invierno más fríos. Por lo tanto, estos se dimensionan después de la demanda máxima de calor en cada escenario. Para poder cubrir la demanda de carga máxima y garantizar la seguridad del suministro de la planta de calefacción distrital en momentos de interrupciones o mantenimiento, se deben establecer tres calderas de biomasa en todos los escenarios, cada una con un tamaño igual a la mitad de la demanda máxima. De esta manera, en momentos de mantenimiento o interrupción inesperada de una de las tres calderas, las otras dos pueden cubrir la demanda máxima. El tamaño de las calderas, junto con el área necesaria para su establecimiento, se muestran en la Tabla inferior.

**Tabla I.4. Tamaño y requisitos espaciales de las calderas de biomasa.**

Escenario		1	2	3	4
Demanda térmica, calefacción distrital	MWh/año	3.727	8.522	18.127	27.469
Perdidas de calor, calefacción distrital	MWh/año	422	1.069	2.934	5.611
Peak demanda de calor	MW	0,9	2,1	4,6	7,1
Tamaño calderas a biomasa	MW:	3 x 0,5 MW	3 x 1,1 MW	3 x 2,4 MW	3 x 3,6 MW
Área requerida	m <sup>2</sup>	600	1.300	2.900	4.300

Fuente(s): Elaboración propia

Los requisitos espaciales vistos en la tabla anterior muestran que, para establecer las tres calderas de biomasa, junto con un edificio de administración de la planta de calefacción distrital, la ubicación A sería suficiente en los Escenarios 1 y 2, mientras que la ubicación B también tendría que usarse en los Escenarios 3 y 4.

## J) Oferta energética

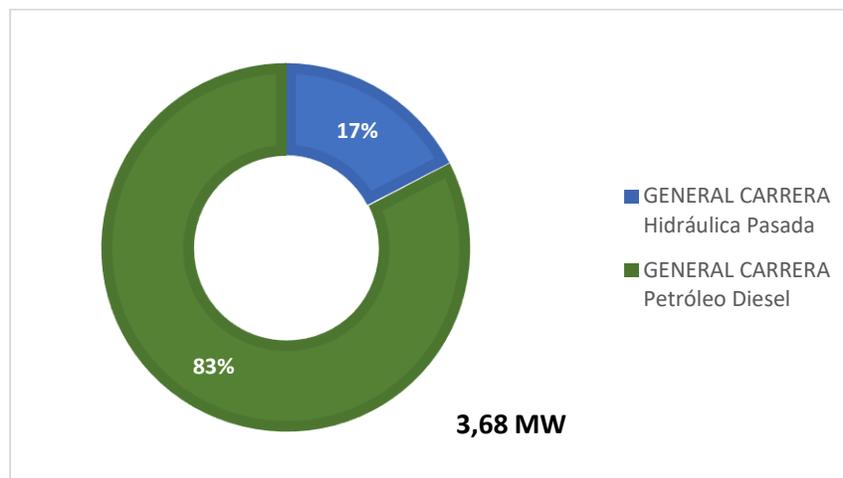
Para determinar la oferta energética (térmica) es necesario realizar un catastro georreferenciado de los principales proveedores de combustibles para calefacción y ACS (leña, GLP y otros) con sus respectivos costos e infraestructura asociada para Cochrane. **Cabe mencionar que parte de esta actividad fue levantada en terreno.**

### Energía eléctrica

La energía eléctrica consumida en la comuna de Cochrane proviene del Sistema Mediano General Carrera. El sistema General Carrera posee una potencia nominal instalada total de 3,68 MW. Las centrales de generación son de propiedad de la empresa Edelaysén. La que a su vez posee la distribución de la energía eléctrica que se genera en el Sistema Mediano de Aysén (<http://datos.energiaabierta.cl/dataviews/245692/CAPAC-INSTA-DE-GENER-SEA/>)

El sistema eléctrico General Carrera está compuesto por dos generadoras eléctricas, la central Cochrane y la central El Traro, las que son de tecnología termoeléctricas a petróleo diésel y mixta de hidráulica de pasada y diésel respectivamente, tal como muestra la figura inferior.

Figura J.1. Gráfico Potencia Total Instalada Sistema Aislado General Carrera 2020.



Nota: Este sistema alimenta las comunas de Cochrane y Chile Chico.

Fuente(s): Elaboración propia basado en levantamiento de datos de (CNE, 2017)

**Punto clave:** Más del 80% de la Potencia Instalada Energía eléctrica del sistema General Carrera corresponde a centrales a Petróleo Diésel.

Dentro de la comuna de Cochrane existe la central de generación eléctrica de tecnología termoeléctrica a base de petróleo diésel de 2,34 MW, la que entrega la electricidad a la barra de la Subestación de Cochrane distribuye electricidad a través de una línea de transmisión de 23 kV y 140 km de longitud, extendida a lo largo de la comuna (CNE, 2017), ver figura inferior.

**Figura J.2. Mapa Sistema Eléctrico General Carrera.**



Nota: La línea morada representa la línea de distribución de 23kV del sistema Mediano General Carrera. El símbolo fucsia representa las centrales Central Termoeléctrica a Petróleo Diésel y el símbolo azul representa las centrales hidroeléctricas que posee el sistema. Por otro lado, el símbolo naranja representa las subestaciones de Cochrane.  
Fuente: (IDE, 2018).

La Demanda de energía eléctrica generada por el sistema General Carrera ha ido en incremento desde los años 2008 al 2013 desde los 7 GWh a unos 10 GWh aproximadamente, sin embargo, con fecha posterior al año 2014, la oferta energética del sistema ha sido relativamente constante en torno a los 10-11 GWh tal como lo indica la figura inferior.

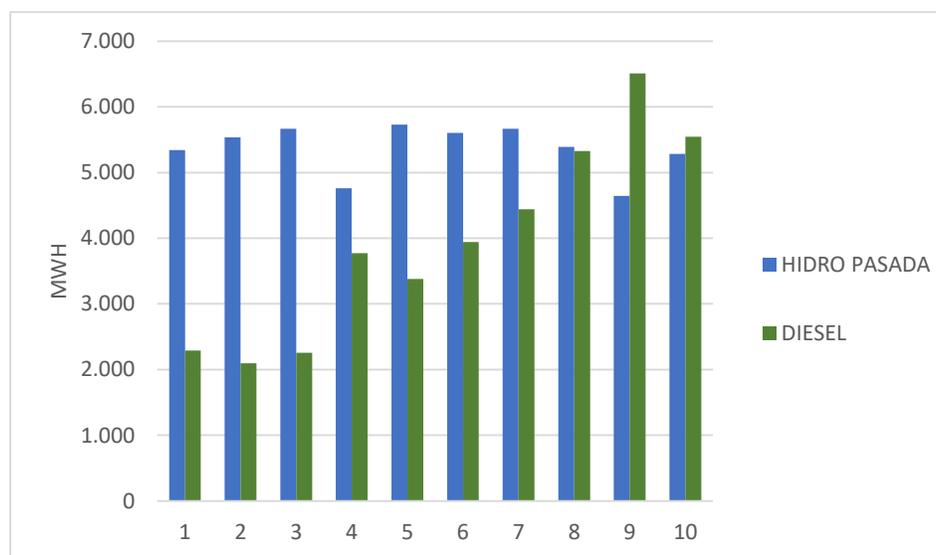
En cuanto al precio de la electricidad, considerando que el proyecto de calefacción podría utilizar tarifa AT 4.3, se estima que el costo de la electricidad es de 131,1 \$/kWh, ver tabla inferior.

Tabla J.1. Precio tarifa eléctrica AT 4.3, Cochrane 2019

Tarifa AT 4.3	Unidad	Valor incl. IVA
Cargo fijo	\$/cliente	3216
Tarifa demanda hora punta	\$/kW mes	12.036
Tarifa demanda maxima leida	\$/kW mes	7567
Tarifa Energia activa	\$/kWh	83
<b>Estimacion</b>		
Demanda max (referencial)	kW	25
Demanda leida hora punta	kW	21
Uso dias hábiles	dias/mes	20
Uso fin de semanas	dias/mes	10
consumo energia	kWh/mes	9.075
Costo energia	\$/mes	752.227
Costo demanda max	\$/mes	189.175
Costo demanda leida hora punta	\$/mes	247.942
Costo total (referencial)	\$/mes	1.189.343
Precio unitario	\$/kWh	131.1

Fuente: elaboración propia, basada en datos de EdelAysen.

Figura J.3. Generación Histórica de Electricidad Sistema General Carrera (2008-2017)



Fuente: Elaboración Propia basado en levantamiento de datos de (CNE, 2017).

**Punto Clave:** Se puede apreciar que la tendencia de generación eléctrica a Petróleo Diésel ha sido alcista, mientras que la generación eléctrica de tipo hidráulica de pasada ha ido disminuyendo levemente a lo largo de los años 2008-2017.



## Combustibles

Los combustibles estudiados para realizar el diagnóstico de consumo térmico de la ciudad de Cochrane fueron gas licuado del petróleo (GLP), kerosene doméstico y leña.

### Gas Licuado Petróleo (GLP)

Las empresas proveedoras de GLP presentes en la ciudad de Cochrane son 5: estas empresas proveen de GLP a dos concesionarios locales ubicados en la ciudad de Cochrane, ver tabla inferior.

**Tabla J.2. Listado de Distribuidores Locales de Gas Licuado de Petróleo en Cochrane.**

Dirección	Petrobras	Copec	ECA	Distribuidor Gasco	Soriano
	Ruta Cochrane – Río Tranquilo	Av. Prat, Esq. O'Higgins	Río Colonia 85	Chacabuco s/n	Octavio Vargas 1061
5 kg	\$11.000	\$9.000	\$9.000	\$10.000	\$10.000
11 kg	\$18.000	----	\$19.000	\$19.000	\$19.000
15 kg	\$24.000	\$25.000	\$25.000	\$24.000	\$24.000
45 kg	\$65.000	\$65.000	\$70.000	\$65.000	\$67.000

Fuente: Elaboración propia en base a entrevista a distribuidores locales, enero 2020.

### Kerosene Doméstico

Dentro de la ciudad el kerosene doméstico se distribuye a través de las estaciones bencineras de servicio, existe un proveedor de kerosene doméstico (Petrobras). Dicha estación de servicio de Petrobras, también abastece gasolinas de 93, 95, 97 octanos y de kerosene doméstico, ver tabla inferior.

**Tabla J.3. Listado Puntos de venta de kerosene doméstico en la ciudad de Cochrane.**

Dirección	Proveedor	Localidad	Precio
Av. Prat, Esq. O'Higgins	Petrobras	Cochrane	890 \$/lt

Fuente: Elaboración propia basado en <http://energiamaps.cne.cl/#>

### Leña

**El mercado de la leña en la ciudad de Cochrane se caracteriza por ser mayoritariamente informal.** Cuyo precio varía entre los 25.000-40.000 \$/m<sup>3</sup>st, dependiendo si la compra es formal o informal, tal como se vio en el punto B). Según datos de IDE y del portal de leña del Sistema Nacional de Certificación de Leña, no existe registro de proveedores certificados de leña en la comuna. <http://leña.cl/comerciantes-certificados-region-de-aysen/>



Se constató en terreno que no existe un mercado formal de leña sino más bien cooperativas cuyos dueños tienen un mercado cerrado para autoconsumo, como, por ejemplo, AG Rio Baker. Las especies preferidas en la comuna son la lenga y el ñirre.

### Bioenergía – Biogás

La bioenergía es el tipo de energía que se obtiene por medio de reacciones químicas de descomposición de biomasa degradable, la que mediante equipos de combustión puede obtenerse energía térmica (por ejemplo, en calderas) o energía eléctrica (grupos electrógenos).

#### Potencial de Biogás

El biogás se obtiene a través de la digestión anaeróbica de la materia orgánica (biomasa). El gas energético principal de biogás es el metano, en una proporción de 50-70%. Este combustible puede ser posteriormente tratado para su uso en calderas de aprovechamiento térmico o equipos de generación eléctrica (CNE/GTZ, 2017).

#### Descripción del recurso

El recurso RSU o Residuos Sólidos Urbanos generado en el sector residencial, tiene el potencial de conversión indicado en la inferior.

**Tabla J.4. Factores de conversión de residuos sólidos urbanos a biogás**

Tipo de biomasa	Productividad	Metano en biogás
	m3 biogás/ton materia orgánica	%
RSU	850	50

Fuente(s): (CNE/GTZ, 2017).

#### Potencial de producción de biogás a partir de residuos sólidos urbanos (RSU)

Los factores de que inciden en el potencial de generación de biogás a partir de residuos sólidos urbanos son principalmente:

- Cantidad de basura depositada periódicamente en los rellenos
- Cantidad de basura acumulada en el relleno
- Condiciones de la disposición final de los RSU
- Condiciones generales respecto a variables climáticas
- Edad de vertedero
- Porcentaje de la parte orgánica en la basura total.
- Vida útil del relleno



A continuación, se analizan los puntos descritos anteriormente:

Considerando el relleno sanitario y su volumen de material un digestor de carga permanente, se observa que la cantidad de basura depositada periódicamente en el relleno corresponde a la tasa de incremento de dicha carga y por ende de la cantidad de material susceptible de ser degradado bioquímicamente. La cantidad de basura acumulada corresponde por tanto a la cantidad en el momento actual de un relleno.

Las condiciones de disposición final de los RSU inciden en la capacidad de mantener una condición anaeróbica de parte significativa del volumen de residuos. La práctica de esparcir en una gran área una capa de bajo espesor, inhibe la capacidad del relleno de lograr una condición anaeróbica del sustrato, mientras la acumulación en pilas de mayor altura la incrementa.

Las variables climáticas juegan un papel importante puesto que por el hecho de que los rellenos constituyen grandes extensiones, no confinables, y por tanto sometidos al efecto de la temperatura de intemperie, la regularidad de dicha temperatura y la capacidad térmica del relleno de mantenerse en un rango entre 20°C y 35°C favorece la acción de bacterias metanogénicas, encargadas de las etapas finales del proceso de síntesis de biogás.

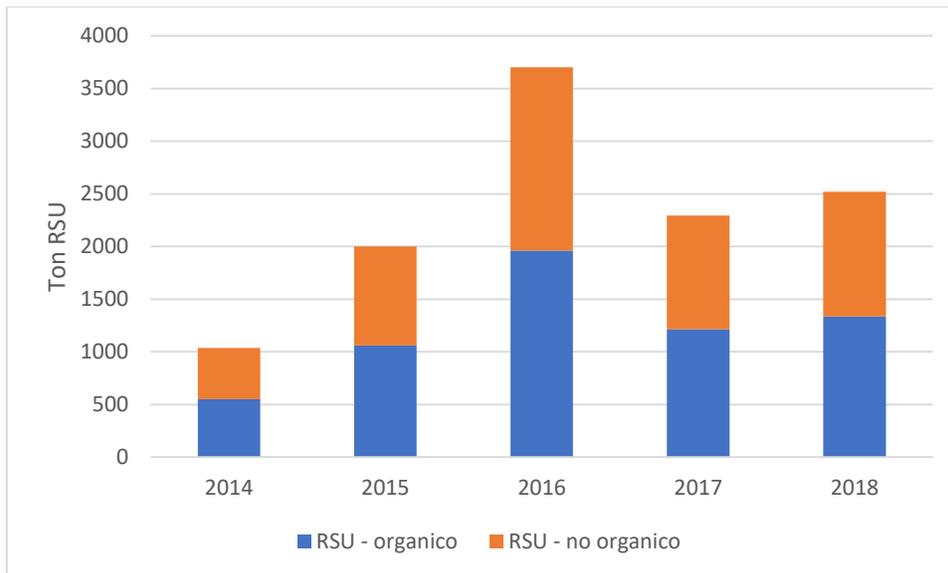
La edad del relleno y su vida útil permiten evaluar la capacidad residual de un relleno existente de generar biogás, considerando que parte del gas metano lograr sintetizarse en el transcurso de la vida del relleno y escapar a la atmosfera en condiciones no controladas.

El porcentaje de la parte orgánica en la basura total corresponde a la parte que efectivamente puede ser digerida anaeróbicamente con potencial de producción de biogás.

Para efectos de cálculo se considera que la materia orgánica es concentrada de manera que ingresa de forma regular en un proceso de producción de biogás, y no considera necesariamente la existencia previa de un relleno sanitario.

La figura inferior muestra la producción de residuos sólidos urbanos (RSU) total de la comuna entre el 2014-2018 y la fracción de materia orgánica contenida en dichos residuos (53%).

**Figura J.4. Producción anual de RSU y su contenido de materia orgánica (M.O.), Cochrane 2014-2018**



Fuente(s): Elaboración propia

Cabe mencionar que los RSU potencialmente pueden llegar a cubrir hasta un 5% de la demanda térmica de la ciudad (25 GWh).

Finalmente, la tabla inferior muestra la producción potencial de biogás considerando el uso de tecnologías de extracción de biogás en rellenos sanitarios.

**Tabla J.5. Potencial de producción de energía a partir de digestión anaeróbica aplicada a RSU**

Año	Materia Orgánica.	Productividad Biogás	Productividad Biogás comunal	Metano en biogás	Producción de Metano	Producción de Energía
	ton	m3 biogás/ton M.O.	m3 biogás	%	m3 metano	MWh
Promedio	1.224	850	1.040.655	50	520.328	1.249

Fuente(s): Elaboración propia



Considerando un factor de planta 0,5 y eficiencia de una caldera a biogás de un 80% de eficiencia<sup>11</sup> y poder calorífico de biogás domiciliario<sup>12</sup> de 6kWh/m<sup>3</sup>, la producción de energía térmica corresponde a 1.249 MWh.

### **Energía por revalorización de RSU**

Cuando la biomasa es revalorizada (incinerada) directamente en hornos o calderas, es posible la obtención de energía calórica la que es transformada en energía eléctrica a través de plantas termogeneradoras.

#### **Potencial de Producción de Energía Térmica por Incineración**

El proceso de producción de energía a partir de residuos sólidos requiere preclasificación, separando los elementos o que no sean aptos para incineración, posteriormente son transportados a equipos incineradores.

Se considera un factor de conversión de 2 MWh de energía térmica y 0,67 MWh de energía eléctrica por una tonelada de RSU sometida al proceso de incineración (DTU, 2014). Ver tabla inferior.

**Tabla J.5. Potencial energético por revalorización de RSU en la comuna de Cochrane**

Año	Producción RSU/año	Potencial Energía Térmica	Potencial Energía Eléctrica
	ton	MWh	MWh
Promedio	2.310	4.620	1.548

Fuente(s): Elaboración propia

Si se utiliza el potencial de revalorización de RSU, se puede llegar a satisfacer hasta un 18% de la demanda térmica de la ciudad.

<sup>11</sup> [http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/10-11/Whisky/biogas\\_boiler.html](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/10-11/Whisky/biogas_boiler.html)

<sup>12</sup> [https://www.biogas-renewable-energy.info/biogas\\_composition.html](https://www.biogas-renewable-energy.info/biogas_composition.html)



## K) Propuesta de red de distribución para sistema de calefacción distrital

### Red de calefacción distrital

Las diferencias de altura en Cochrane son relativamente bajas. La planta de calefacción distrital estará ubicada a unos 145 m sobre el nivel del mar. El punto más alto del área relevante, está a unos 170 m sobre el nivel del mar. Para garantizar la presión de retorno necesaria en las ubicaciones de los consumidores más altos, la presión de retorno en la planta de calefacción distrital debe ser de alrededor de 3,5 bar. Esto significa que es posible entregar calefacción distrital a toda la ciudad manteniendo la presión de suministro (salida) por debajo de un límite de 6 bar. Mantenerse por debajo de 6 bar permite utilizar equipos y tuberías estándar relativamente baratos. Para mantenerse por debajo de 6 bar, la diferencia de presión máxima de la planta debe ser 2,5 bar.

Para cada escenario de calefacción distrital, se diseña una red de distribución utilizando el software Termis. Termis es un software comercial propiedad de AVEVA. El software ayuda a dimensionar la red principal de tuberías en función de la demanda de calor de los consumidores en los diferentes escenarios. Termis también se utiliza para calcular las pérdidas de calor de la red. Para dimensionar la red de tuberías y calcular las pérdidas de calor de la red de calefacción urbana primaria y secundaria, se han utilizado los siguientes supuestos:

- Temperatura de suministro desde la planta de DH: 70 ° C
- Temperatura de retorno de los consumidores: 40 ° C
- Temperatura del suelo a la demanda máxima: 8 ° C
- Máx. gradiente de presión en la red de tuberías: 100 Pa / m
- Máx. velocidad en la red de tuberías: 2 m / s

El dimensionamiento de la red de tuberías principal se basa en la demanda anual de calor de cada manzana, que se utiliza como entrada para el modelo Termis. Las demandas anuales de calor se importan a Termis en formato GIS. Se utiliza un mapa (foto aérea) de Cochrane como fondo, para confirmar la posición de las cargas de calor y para localizar las carreteras para instalar la red de tuberías.

La demanda térmica anual, a nivel de manzana, se convierte en carga máxima para el dimensionamiento de la tubería. La suma de las cargas máximas para las manzanas en cada escenario se basa en las cargas máximas totales derivadas de las curvas de duración de energyPRO (ver punto i). Por lo tanto, la carga máxima de la planta de calefacción distrital varía desde 0,9 MW en el Escenario 1 a 7,1 MW en el Escenario 4. Se supone que los consumidores de todas las manzanas tienen la misma relación entre la carga máxima y la demanda anual de calor.



Para el dimensionamiento de las redes secundarias, se supone que cada vivienda (y, por lo tanto, las tuberías de servicio al consumidor) tiene una carga máxima de 10 kW. El factor simultáneo no se considera para redes secundarias en esta etapa. La carga máxima real en el nivel del consumidor debe calcularse en una etapa posterior durante una fase de ingeniería de detalle.

Se supone que la mayoría de las tuberías serán tuberías PEX<sup>13</sup> pre aisladas. Para dimensiones superiores a 140 mm, se utilizarán tuberías de acero pre aisladas tradicionales. Los costos de las tuberías PEX se basan en el "Estudio para la identificación de calor residual para proyectos de calefacción distrital identificados en el área metropolitana de Concepción (UDT, 2017)" y "Estudio de Ingeniería de Detalle para Proyecto de Calefacción Distrital en el Sector Escuela Agrícola de Coyhaique" (EBP, 2016). Los costos se dan por metro lineal de tubería, es decir, para la tubería de salida y retorno. Los costos incluyen mano de obra, materiales e IVA, y se comparan con las cifras estándar de Chile. Se agrega un 30% adicional sobre todas las inversiones en el análisis, debido a que Cochrane se encuentra en un área bastante aislada.

Los costos de las tuberías de acero se estiman interpolando los valores de las tuberías PEX, utilizando el diámetro como parámetro determinante, ver tabla inferior. El análisis muestra una necesidad limitada de las dimensiones más grandes. Por lo tanto, el análisis no es sensible a los costos de las tuberías de acero.

Se supone que el estándar de aislamiento del sistema de tuberías es serie (nivel) 1.

---

<sup>13</sup> Polietileno reticulado

**Tabla J.1. Costo de tubería por metro lineal**

Tubería	Costo (\$/m)
PEX 20/77 S1	73.380
PEX 25/77 S1	91.724
PEX 32/77 S1	102.295
PEX 40/90 S1	120.902
PEX 50/110 S1	142.880
PEX 63/125 S1	164.858
PEX 75/140 S1	186.835
PEX 90/160 S1	208.813
PEX 110/180 S1	230.791
PEX 125/180 S1	252.768
PEX 140/200 S1	283.437
PRE 139.7/225 S1	328.203
PRE 168.3/250 S1	396.960
PRE 219.1/315 S1	520.129

Nota: incluye 30% de costos adicionales por zona extrema.

Los costos de las obras civiles relacionadas con los trabajos de suelo (por m<sup>3</sup>) de la red de calefacción urbana se basan en EBP (2016), ver tabla inferior. Para trabajos en el suelo se supone que la profundidad de excavación será de 0,5 m más el diámetro exterior de las tuberías. Los anchos de las excavaciones son de 0,2 m más el diámetro exterior de ambas tuberías, incluido un espacio entre las tuberías. El espacio necesario está en el rango de 0,1 m (para las dimensiones más pequeñas) a 0,3 m (para las dimensiones más grandes).

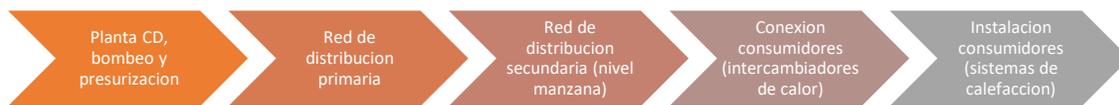
**Tabla J.2. Costo de obra civil por m<sup>3</sup> de zanja.**

Ítem	Costo (\$/m <sup>3</sup> )
Excavación con maquinaria	5.850
Limpieza	6.456
Repavimentación	103.307
<b>Total</b>	<b>115.613</b>

Fuente(s): Elaboración propia

La red de calefacción distrital se divide en la red principal (en las calles, conectando las manzanas) y la red secundaria, que suministra calor a los diferentes viviendas y edificios de cada manzana. La división en varios subsistemas se visualiza en la figura inferior. La división del subsistema se usa tanto para calcular los costos de inversión como para separar la estimación de la potencia máxima de producción de calor, las pérdidas de distribución y la demanda de calor del usuario final.

**Figura J.1. División del subsistema de suministro de calefacción distrital.**



#### Red primaria de distribución

La red primaria de distribución son las tuberías entre la planta de calefacción distrital y el perímetro de las manzanas. La red de tuberías primaria tiene fundamentalmente una estructura similar en los cuatro escenarios. La red de tuberías está diseñada como una estructura de árbol, donde las longitudes y el número de ramas aumentan para cada escenario, ver figura inferior.

Figura J.2. Escenarios para calefacción urbana.



Nota: Red de tuberías primaria codificada por color para Escenario 1, 2, 3 y 4. C1= Ubicación de central térmica en base a biomasa para escenarios 1 y 2. C2= Ubicación de central térmica en base a biomasa para escenarios 3.1 y 4. C3=Ubicación de central solar térmica para escenario 3.2.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura superior se muestra cómo es posible expandir el sistema de calefacción distrital de forma continua. Las tuberías rojas muestran el Escenario 1, donde solo están conectados los cinco edificios públicos. Escenario 2 son las extensiones amarillas; El escenario 3 son las extensiones verdes y el escenario 4 son las extensiones azules.

Tener en cuenta que, si se desea una extensión gradual, las tuberías principales aguas arriba que son comunes en todos los escenarios, deben dimensionarse para la extensión final (escenario 4). Por lo tanto, es imposible que las dimensiones del escenario 1 sean capaces de satisfacer la demanda

de calor DH en los escenarios 2, 3 y 4. Por lo que se debe dimensionar pensando en la futura expansión de la red.

Las redes de tuberías primaria para el Escenario 1-4 se muestran en los mapas de la Figura J.3 a la Figura J.6. Las dimensiones estimadas de la tubería, capaces de suministrar suficiente calor en los cuatro escenarios, se visualizan por el color y el grosor de las tuberías. El rojo representa las dimensiones más grandes, mientras que el verde representa las más pequeñas. Las longitudes de las principales redes DH también se encuentran en la tabla inferior.

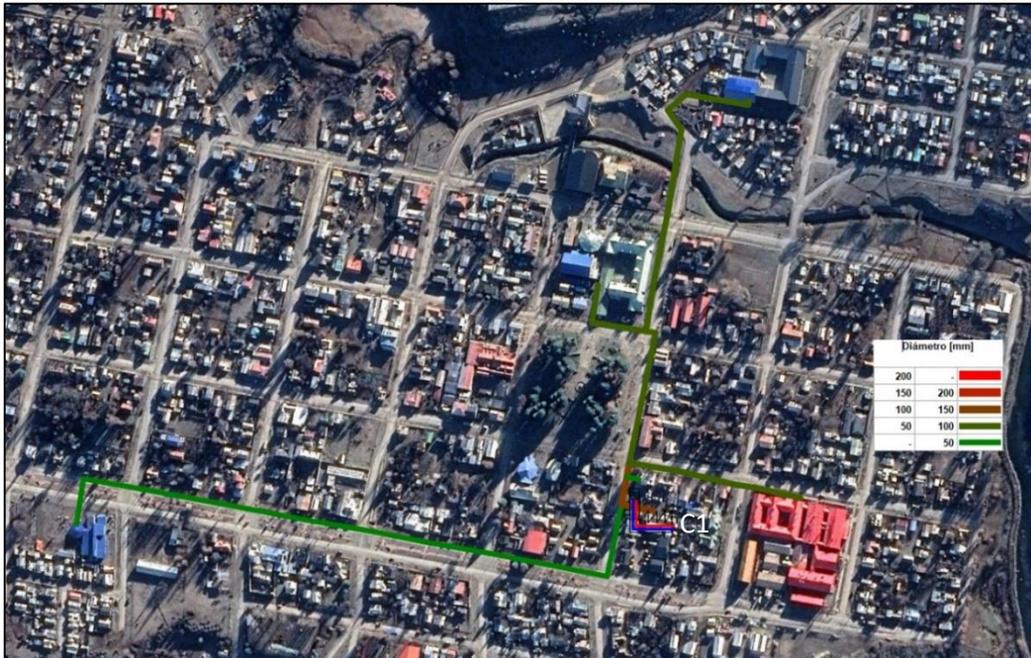
Los costos de capital para establecer las principales redes DH se calculan utilizando los precios en la Tabla 5 y la Tabla 6 y las longitudes que se muestran en la tabla inferior.

**Tabla J.3. Longitud de la red DH principal en los cuatro escenarios.**

Escenario/dimensión	1	2	3	4
PEX 40/90 S1	12,9	0,0	0,0	25,3
PEX 50/110 S1	653,1	468,4	290,9	679,9
PEX 63/125 S1	0,0	0,0	282,7	320,9
PEX 75/140 S1	496,0	690,9	549,3	767,1
PEX 90/160 S1	92,7	228,3	399,5	606,9
PEX 110/180 S1	143,6	288,6	566,3	644,1
PEX 125/180 S1	73,8	0,0	347,1	603,6
PEX 140/200 S1	0,0	132,3	193,7	283,2
PRE 139.7/225 S1	0,0	73,2	133,0	640,5
PRE 168.3/250 S1	0,0	0,0	43,9	0,0
PRE 219.1/315 S1	0,0	0,0	31,1	206,4
<b>Largo total</b>	<b>1472,1</b>	<b>1881,8</b>	<b>2837,5</b>	<b>4777,7</b>

Fuente(s): Elaboración propia

Figura J.3. Escenario 1 red de calefacción distrital.



Fuente: Elaboración propia. C1= Ubicación de central térmica en base a biomasa para escenarios 1 y 2.

Figura J.4. Escenario 2 red de calefacción distrital.



Fuente: Elaboración propia.

Figura J.5. Escenario 3 red de calefacción distrital.



Fuente: Elaboración propia.

C2= Ubicación de central térmica en base a biomasa para escenarios 3.1 y 4. C3=Ubicación de central solar térmica para escenario 3.2.

Figura J.6. Escenario 4 red de calefacción distrital.



Fuente: Elaboración propia.

C1= Ubicación de central térmica en base a biomasa para escenarios 1 y 2. C2= Ubicación de central térmica en base a biomasa para escenarios 3.1 y 4.

### Red secundaria de distribución

La red secundaria es la red de distribución necesaria entre la red principal de tuberías y las instalaciones de las viviendas. La red secundaria se establece bajo las veredas, a través de los jardines o entradas de los consumidores (las tuberías de servicios ya establecidos). Se han analizado manzanas representativas de diferentes tamaños para estimar las longitudes, los costos de capital y las pérdidas de calor de las redes secundarias de distribución.

La Figura inferior muestra un ejemplo de la manzana número 27 (de acuerdo a la notación del SII), que se ha utilizado para estimar las longitudes de las redes secundarias. Se ha decidido entregar calor de manera tradicional, mediante tuberías de servicio individuales (PEX) a través de las calles / pavimento a los consumidores. Una ventaja de esta solución es que algunas de las tuberías secundarias se pueden usar para dos manzanas simultáneamente.

Existen diferentes formas de diseñar la red secundaria. Una opción tener solo una rama de la red principal y dividir esa rama en varias tuberías más pequeñas dentro de la manzana. Sin embargo, se concluyó que esta opción no sería significativamente más barata que el suministro a través de las calles, ya que la mayoría de las casas se encuentran al lado de las calles.

**Figura J.7. Red secundaria de manzana 27.**



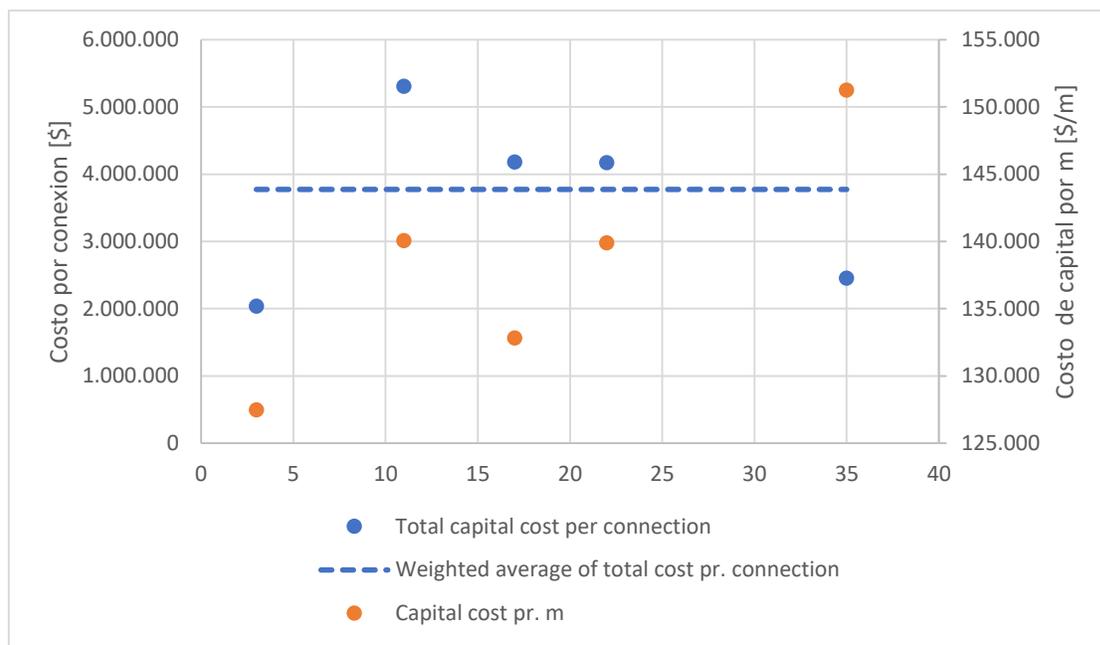
Nota: La línea roja gruesa es la red principal a la que está conectada la red secundaria.

Según las manzanas representativas, el costo de capital promedio por conexión y la pérdida de calor promedio se han estimado, ver anexo I. Los costos de capital utilizados para el análisis son \$2.875.485 por conexión para tuberías y \$900.276 por conexión para trabajos de suelo, mientras que la pérdida de calor promedio es de 0,7 kW por conexión.

Los costos de capital para la red de distribución secundaria se calculan como el número de conexiones (viviendas) en cada escenario multiplicado por el costo por conexión. Del mismo modo, las pérdidas de calor se calculan como el número de conexiones (viviendas) en cada escenario multiplicado por el costo por conexión. Los costos de capital se pueden ver en la Figura inferior.

Se considera que los cinco edificios públicos en el Escenario 1 no están conectados a redes secundarias. Por lo tanto, los costos de capital y las pérdidas de calor para el suministro de estos edificios están incluidos en la red principal.

**Figura J.8. Costos de capital por conexión doméstica (azul) y costos de capital por metro (naranja).**



Nota: Punto azul= Costo total de capital (inversión) por conexión. Línea azul segmentada=Costo total ponderado de capital por conexión. Punto naranja=Costo de capital por metro lineal.

#### *Conexiones de consumo e instalaciones domésticas*

Las instalaciones de consumo se dividen en dos partes: la conexión del consumidor (por ejemplo, intercambiador de calor) y las instalaciones domésticas necesarias para la calefacción a base de agua, incluidas las tuberías y radiadores en la sala de estar, dormitorios, cocina y baños.

El costo de una conexión doméstica es de \$968.028 según los datos de UDT (2017). La unidad incluye termostatos, un intercambiador de calor de placas para agua caliente sanitaria, un medidor de flujo y energía y otros equipos necesarios. Un ejemplo de una unidad de intercambiador de calor se muestra en la figura inferior.

Figura J.9. Ejemplo de unidad de intercambiador de calor para hogares.

Descripción del ítem	Precio (CLP)
1 Termostato ambiental analógico 230 V, programa de 7 días	67.160
2 WK-M-1 Estación base 12l/min. 16 Intercambiador de placas	403.252
3 Módulo termostático principal TTV conectado en la estación	96.981
4 Regulador termostático de agua caliente "TWR" 35-70° C para calefacción por suelo radiante	75.920
5 Actuador 230 V (cerrado sin tensión)	13.870
6 Limitador de temperatura de retorno (secundario calefacción, tarado a 37,5°C)	46.574
7 Juego de 6 válvulas esféricas (2 x azul, 2 x rojo, 2 x verde)	40.880
<b>Total equipamiento para estación de transferencia WK-M-1</b>	<b>744.637</b>

Fuente: Kamo Systemtechnik.

El costo de las conexiones públicas se estima en \$7.000.000 en promedio para los cinco edificios, ver tabla inferior. Este es el costo para reemplazar las calderas de biomasa existentes con unidades de intercambiador de calor. Los costos incluyen las tuberías necesarias, etc.

Tabla J.4. Costo de unidades de intercambiador de calor para viviendas y edificios públicos.

Intercambiador de calor	Viviendas	Edificios públicos
Precio por conexión	\$/unidad	\$/unidad
(incl. IVA y 30% extra).	968.028	7.000.000

Fuente(s): Elaboración propia

La gran mayoría de los hogares necesitarán ser adecuadas para permitir la circulación del agua caliente. La adecuación comprendería instalar un sistema de tuberías, radiadores o calefacción de piso (losa radiante) y ACS.

Según UDT (2017), el costo de las instalaciones domésticas para una casa de 120 m<sup>2</sup> varía entre \$2.340.000-\$3.731.000 por vivienda. El precio promedio por vivienda es de \$3.035.500, esto dividido por el área de piso de 120 m<sup>2</sup>, da el precio promedio de las instalaciones domésticas es de 25.296 \$/m<sup>2</sup>.



En el análisis, el costo de capital de la instalación de los sistemas de circulación de agua caliente se calcula multiplicando el área del piso de los hogares conectados en cada escenario con el precio promedio por m<sup>2</sup>.

No se incluyen costos adicionales de instalaciones para los 5 edificios de propiedad municipal. A excepción del edificio del municipio, todos estos edificios ya están equipados con sistemas de circulación de agua caliente y radiadores.

### **Resultados principales del análisis de la red de calefacción distrital**

Los costos de establecer una red distrital y las instalaciones del consumidor se calculan para cada escenario, ver tabla inferior.

En el escenario 1, la mayor parte (90%) de los costos están relacionados con la red principal de tuberías.

En los escenarios 2 a 4, la parte de los costos de las tuberías secundarias y las conexiones e instalaciones de los consumidores es cada vez mayor. Las viviendas son caras de conectar en relación con el calor que consumen. Desde la última fila de la tabla inferior, se encuentra que los costos de capital relativos a la demanda de calor se duplican del Escenario 1 al Escenario 4.

Tabla J.5. Costos de capital de la red de calefacción distrital para cada escenario.

Escenario	1	2	3	4
Demanda térmica anual [MWh]	3.727	8.522	18.127	27.469
Numero de manzanas [-]	5	9	27	58
Número de conexiones [-]	5	90	351	704
Área acondicionada excl. Edificios públicos. [m <sup>2</sup> ]	0	8.837	28.215	36.948
Largo tuberías principales [m]	1.472	1.882	2.838	4.778
Costo tuberías principales [\$]	258.691.049	371.822.632	624.807.892	1.122.162.874
Costo excavaciones [\$]	73.724.530	102.766.330	169.156.878	295.518.518
Largo tuberías secundarias [m]	0	2.452	9.562	19.178
Costo tuberías secundarias [\$]	0	258.793.617	1.009.295.105	2.024.341.180
Costo excavaciones [\$]	0	81.024.876	315.997.016	633.794.584
Costo de conexiones [\$]	35.000.000	117.282.380	369.937.688	711.651.572
Costo instalaciones (consumidores) [\$]	0	223.539.279	713.721.938	934.630.450
<b>Costo total de capital [\$]</b>	<b>367.415.579</b>	<b>1.155.229.114</b>	<b>3.202.916.517</b>	<b>5.722.099.179</b>
Costo relativo a la demanda térmica [\$/MWh-anual]	98.588	135.557	176.693	208.311

Fuente(s): Elaboración propia

Las pérdidas de calor de la red primaria y secundaria se calculan en Termis (ver tabla inferior). En cuanto a los costos de capital, la proporción de pérdidas de calor de la red secundaria aumenta en la medida que se conectan más viviendas, porque la densidad de calor de las redes disminuye del Escenario 1 al 4.

La cuota de pérdida de calor se calcula como la pérdida de calor anual dividida por la producción total de calor, cubriendo tanto la demanda de calor como las pérdidas de calor. Las pérdidas de calor relativas se estiman en 10% para el Escenario 1 a 17% para el Escenario 4. Las pérdidas de calor relativas del Escenario 2 y 3 son 11 y 14% respectivamente.

**Tabla J.6. Perdidas de calor para cada escenario**

Red primaria				
Potencia de pérdida de calor [kW]	48	64	100	165
Perdida de calor anual [MWh/año]	422	563	878	1.446
Red secundaria				
Potencia de pérdida de calor [kW]	0	58	235	476
Perdida de calor anual [MWh/año]	0	507	2.062	4.166
Total				
Potencia de pérdida de calor [kW]	48	122	336	641
Perdida de calor anual [MWh/año]	422	1.069	2.940	5.612
<b>Producción total de calefacción distrital [MWh/año]</b>	<b>4.149</b>	<b>9.592</b>	<b>21.067</b>	<b>33.081</b>
<b>Perdida de calor porcentual [%]</b>	<b>10%</b>	<b>11%</b>	<b>14%</b>	<b>17%</b>

Fuente(s): Elaboración propia

Termis también se utiliza para estimar la capacidad necesaria y el consumo de energía de las bombas principales, que se ubicarán en la planta de calefacción distrital. Según las simulaciones, las bombas principales necesitarán una capacidad que oscile entre 2 y 25 kW en la carga máxima.

Se supone que las bombas tienen alrededor de 2.000 horas de carga completa por año. Por lo tanto, el consumo anual de electricidad de las bombas oscilará entre 4.000 y 50.000 kWh de escenario 1 a 4, ver tabla inferior. Esto corresponde a alrededor del 0,01% de la producción de calor necesaria. El costo del consumo de electricidad de las bombas se contabiliza en los cálculos económicos en el siguiente capítulo.

**Tabla J.7. Consumo de electricidad de la bomba principal.**

Peak de potencia [kW]	1,9	4,6	11,8	24,3
Consumo eléctrico anual [kWh/año]	3.808	9.219	23.580	48.540
Consumo eléctrico relativo a la producción de calor	0,092%	0,096%	0,11%	0,15%

Fuente(s): Elaboración propia



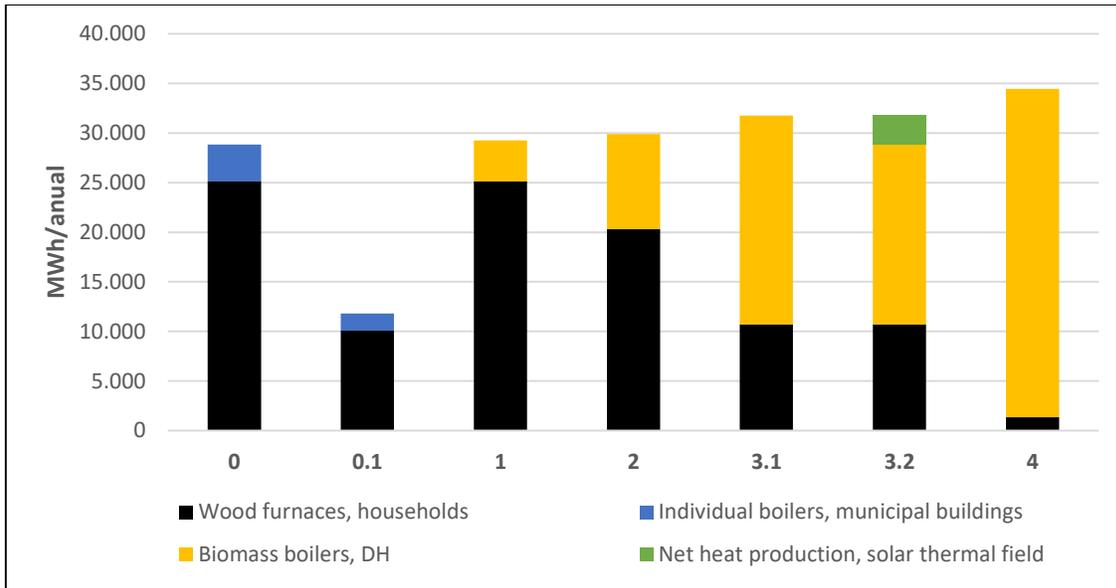
## L) Evaluación económica del sistema de calefacción distrital desde un punto de vista privado y público

Una vez que todos los escenarios se modelan y simulan en energyPRO, se extraen datos relevantes relacionados con la producción anual de energía y el consumo de combustible de cada escenario. Posteriormente, algunos de los parámetros clave de todos los escenarios se comparan en Excel, con el propósito de determinar las implicaciones de establecer calefacción distrital en Cochrane. El detalle de los parámetros y consideraciones utilizados para los cálculos de energyPRO se pueden encontrar en el Anexo L. Los resultados detallados de los cálculos de energyPRO se pueden encontrar en el Anexo L.

### Producción anual de energía térmica

Como se mencionó en los capítulos anteriores, debido a las limitaciones de espacio alrededor de Cochrane, el establecimiento de un campo solar térmico se considerará solo en uno de los escenarios. El escenario 3 se elige como el más adecuado para una comparación entre el establecimiento de calderas de biomasa únicamente (Escenario 3.1) con el establecimiento de calderas de biomasa + paneles solares térmicos de 5.000 m<sup>2</sup> con un tanque de almacenamiento de agua caliente de 1.000 m<sup>3</sup>. Los resultados para la producción de calor en todos los escenarios se representan gráficamente en la figura inferior con el propósito de facilitar su comparación, y se muestran en detalle en el Anexo I. La cantidad de calor total producido aumenta en los escenarios alternativos porque son mayores pérdidas de calor en la red de distribución conectadas con la mayor tasa de conexión a la red, ver figura inferior.

Figura L.1. Producción de calor incl. pérdidas de calor en los diferentes escenarios.

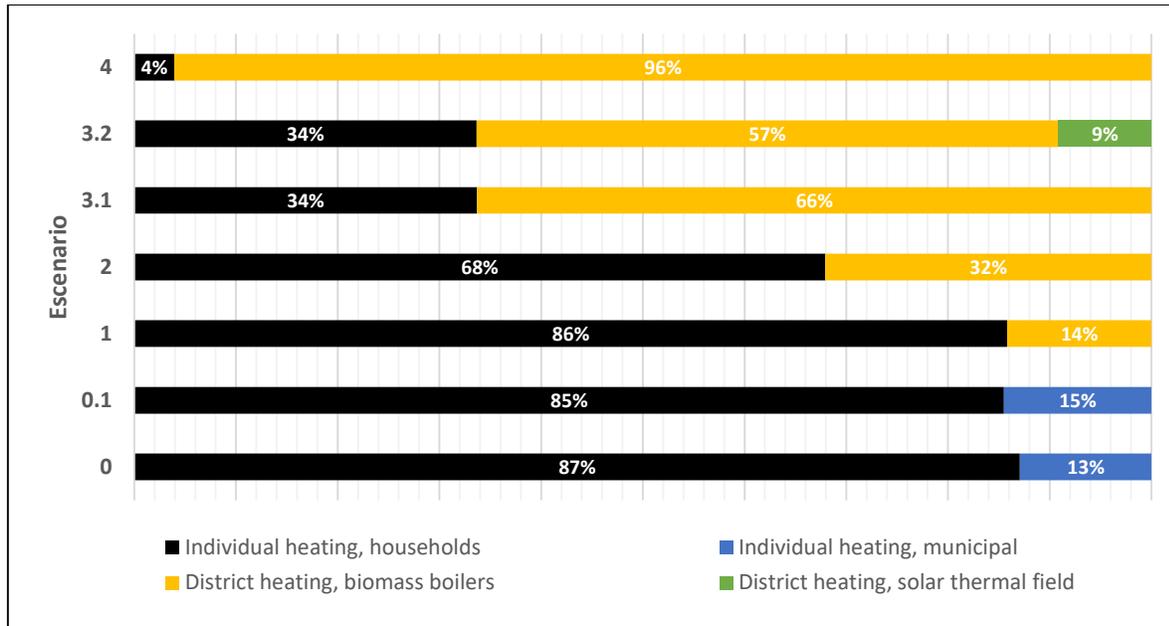


Nota: Wood furnances, households= Estufas a la leña para viviendas. Biomass boilers, DH=Calderas a biomasa, calefaccion distrital. Individual boilers, municipal buildings= Calderas municipales individuales. Net heat production, solar thernal feld= Produccion de calor neta, campo solar.

La parte de la demanda de calor cubierta por las diferentes unidades de producción se muestra en la figura inferior.

Como se ve en la figura inferior, las calderas de biomasa cubren una parte de la demanda de calor proporcional al porcentaje de viviendas conectados a la red de calefacción distrital en todos los escenarios menos uno. La única excepción es en el Escenario 3.2, donde el campo solar térmico desplaza el 9% de la producción de las calderas de biomasa. La razón por la cual los números en la figura superior no son idénticos a la demanda térmica, es porque las pérdidas de calor en la red de distribución también se tienen en cuenta aquí. Los resultados detallados de los cálculos están disponibles en el Anexo I.

Figura L.2. Cobertura de la demanda de calor en cada escenario.



Nota: Wood furnaces, households= Estufas a la leña para viviendas. Biomass boilers, DH=Calderas a biomasa, calefacción distrital. Individual boilers, municipal buildings= Calderas municipales individuales. Net heat production, solar thermal field= Producción de calor neta, campo solar.

## Pre factibilidad privada-económico

Se determina la prefactibilidad desde un punto de vista privado-económico para todos los escenarios. El cálculo de las consecuencias económicas se realiza comparando los costos anuales para la producción de calor de la línea base vs los escenarios alternativos.

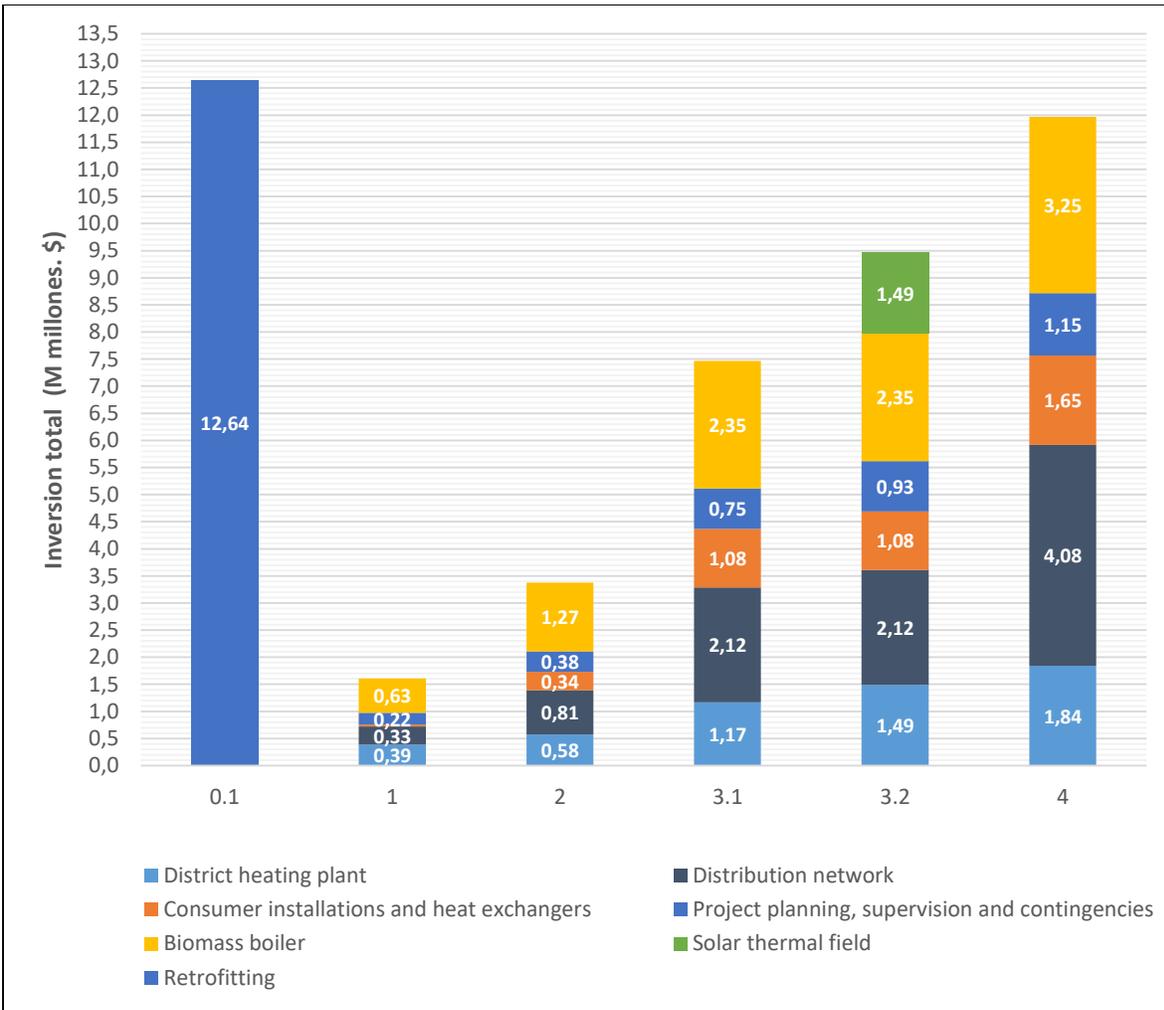
Primero, se realiza una evaluación económica de la situación actual, que se presenta en el escenario principal (línea base). Los gastos de operación del suministro de calefacción individual en Cochrane se calculan a lo largo de un año referencial, considerando solo las unidades de producción de energía actualmente en funcionamiento. Esto es seguido por evaluaciones de los cambios en los ingresos de la operación causados por la inclusión de calderas de biomasa, ya sea solas o en combinación con paneles solares térmicos. Los costos de operación para cada escenario se calculan parcialmente en energyPRO. Posteriormente, los costos adicionales de operación se calculan en Excel. Los costos de electricidad para las bombas de circulación de la red distrital se calculan con base en los datos indicados en el punto K). El salario del personal de la planta y los costos de administración también se contabilizan. Los costos de administración se establecen en 50.000 \$ / conexión anual (basado en la experiencia danesa). Los niveles salariales varían según el rol que se cumpla, este se estimó en



base a lo indicado por la contraparte. Se puede encontrar una descripción general detallada de los costos de operación en el Anexo I y en el Anexo L.

Los costos de inversión para todos los escenarios de calefacción distrital se basan en EBP 2016 o se estiman en base a experiencias danesas de proyectos similares. Los costos de inversión en acondicionamiento térmico de edificios y viviendas existentes, en base al estándar del PDA de Coyhaique, se estimó en 230.000 \$/ m<sup>2</sup>, ver punto G). Además, se supone que el 25% de las estufas a leñas actuales en el escenario de referencia tendría que cambiarse, a un costo de 500.000 \$/ unidad. Este número se ajusta en los escenarios de calefacción distrital, de modo que representa el 25% de los hogares que no están conectados a la red distrital. Los costos de inversión en las calderas de biomasa se basan en datos de la contraparte e incluyen el establecimiento de una bomba de calor de absorción y un silo de biomasa. Las inversiones en el campo termo solar se basan en experiencias danesas de proyectos similares. Se asignan \$70.000.000 por concepto de planificación, supervisión de proyectos, estudios ambientales, etc. que se basa en los datos proporcionados por la contraparte. Por último, pero no menos importante, se asume contingencias equivalentes al 10% de la inversión, con el objetivo de considerar la incertidumbre en algunos de los costos de inversión. Todos los costos de inversión se estiman incluyendo el IVA (19%) y 30% de costo adicional, debido a la ubicación remota de Cochrane. Una visión general de los costos de inversión es visible en la figura inferior, mientras que un desglose detallado se puede ver en el Anexo I.

Figura L.3. Inversiones estimadas en los diferentes escenarios.



Nota 1: Todos los costos de inversión incluyen 19% de IVA y 30% de costo adicional, debido a la ubicación remota de Cochrane.

Nota 2: District heating plant= Planta de calefacción distrital. Consumer installation and heat exchangers= Instalaciones domiciliarias e intercambiadores de calor. Biomass boiler= Caldera a biomasa. Retrofitting= Reacondicionamiento térmico (PDA-Coyhaique). Distribution network= Red de distribución primaria y secundaria. Project planning, supervision and contingencies= Planificación, supervisión y contingencias del proyecto. Solar thermal field= Campo solar térmico.

Como se ve en la figura anterior, los costos de inversión en las calderas de biomasa son sustanciales, lo cual es de esperar, dado que son las únicas unidades de producción de calefacción distrital en la mayoría de los escenarios. Además de eso, la red de distribución representa una gran parte de los costos totales de inversión en los escenarios con una alta tasa de conexión. El campo solar térmico también tiene costos de inversión considerables, especialmente cuando se tiene en cuenta la parte de la producción total de calor.



Una vez que se determinan los costos de operación y de inversión de capital, se evalúa la prefactibilidad económica del proyecto, desde un punto de vista privado, para cada escenario alternativo en comparación con la referencia. El cálculo económico compara los costos de operación en los diferentes escenarios y estima los ahorros de la operación al comparar los escenarios alternativos con la línea de base. Posteriormente, los costos de capital, incurridos por las inversiones realizadas en cada escenario, se restan de los ahorros debido a la operación. Los costos de capital se calculan considerando una tasa de descuento de un 12% anual.

Una vez que se contabilizan los costos de capital para cada escenario, se realiza un cálculo de los ahorros netos (ahorros de operación - costos de capital) en cada escenario alternativo, en comparación con la línea de base. Una suma de los costos de operación y capital para cada escenario, dividido por la demanda total de calor produce el precio de producción de calor en cada escenario. Tanto el ahorro neto como el precio de producción de calor en los escenarios se calculan y comparan, con el propósito de determinar si hay una mejora en comparación con el escenario de referencia. Los parámetros clave que caracterizan los escenarios alternativos son; los ahorros netos positivos y una disminución en el precio de producción de calor. Por lo tanto, el escenario que genera el mayor ahorro neto y que disminuye el precio de producción de calor es el más factible para la implementación desde una perspectiva privada.

Los costos de capital en los escenarios alternativos, que se basan en los costos de inversión que se muestran en la figura superior, se calculan en un periodo de 20 años para la inversión, con una tasa de descuento nominal del 12% y una inflación anual estimada del 3%<sup>14</sup>. Esto da como resultado una tasa de descuento real (tasa nominal - inflación) del 9%. Por último, pero no menos importante, se incluye un valor de residual para las inversiones en la planta y la red de distribución en el cálculo, asumiendo que ambos grupos de costos tendrían una vida útil tecnológica de 40 años. El valor residual anual se deduce de los costos de capital en cada escenario. Una visión general de los resultados de los cálculos privado-económicos se puede ver en la figura inferior, mientras que los cálculos detallados se encuentran en el Anexo I.

---

<sup>14</sup> <https://tradingeconomics.com/chile/inflation-cpi>

Figura L.4. Costos anuales privado-económicos y ahorros netos.



Nota: Fuel costs= Costos de combustible. O&M costs= Costos de operación y mantención. Capital cost-scrap value=Costo de inversión de capital -valor residual. Electricity costs= Costos de electricidad. Salary and administration= Salarios y gastos de administración. Business-economic net savings vs base line= Evaluación privada de ahorros netos vs línea base.

La figura superior muestra claramente que el establecimiento de calefacción distrital en Cochrane no sería factible desde una perspectiva privada. Una tendencia general que se puede ver, es que el ahorro neto privado-económico se reduce gradualmente por el aumento de la tasa de conexión a la red distrital. La razón principal de esto, es que los ahorros de la operación son negativos en comparación con la línea de base. Por lo tanto, no pueden compensar los costos de capital en los escenarios alternativos, que son progresivamente mayores en los escenarios con una tasa de conexión a la red más alta.



El valor actual neto (VAN), es decir, la estimación del valor del costo y los beneficios durante la vida útil de una inversión también se calcula para todos los escenarios. En términos generales, cuando se calcula el VAN de una inversión, un valor positivo indica la viabilidad económica y significa que el proyecto superará el punto de equilibrio, es decir, cuando los ingresos excedan los gastos y generen ganancias para el inversor. Teniendo en cuenta que todos los escenarios alternativos tienen costos de inversión sustanciales, al tiempo que generan ahorros operativos negativos en comparación con la línea de base, el VAN es negativo para todos los escenarios. Este es alrededor de -1,7 M millones \$ en el escenario 1 y se vuelve cada vez más negativo a través de los escenarios, hasta llegar a -13,6 M millones \$. En el escenario 4. Esto significa que sería necesario contar con el apoyo financiero del estado para que el proyecto sea atractivo para un posible inversor. Se puede ver una descripción general del VAN para todos los escenarios en la tabla inferior.

**Tabla L.1. VAN de la inversión en todos los escenarios.**

Escenario		0.1	1	2	3.1	3.2	4
VAN	M Millones \$	-5,0	-1,7	-3,6	-8,2	-8,9	-13,6

Fuente(s): Elaboración propia

Los ahorros operativos son negativos en parte porque hay costos asociados con el salario del personal, etc. en los escenarios alternativos. Pero también porque existen diferentes tarifas para la compra de biomasa (mercado informal), que son considerablemente más bajas para las viviendas, como se pudo constatar en terreno. Como resultado, los costos de producción por m<sup>3</sup> de biomasa son muy bajos, sin embargo, con una eficiencia más baja. Por otro lado, la calefacción distrital sustituye a la otra bajo la lógica de una producción más cara con una mayor eficiencia. **Por lo tanto, una posible medida a tomar para aumentar los ahorros operativos netos sería prohibir la compra de biomasa a precios del mercado informal, es decir regular el mercado.**

Además, vale la pena mencionar que la tasa de descuento utilizada para calcular los costos de capital, junto con el período de evaluación, tienen una influencia directa en los costos de capital. De este modo, contribuye en gran medida a la falta de viabilidad comercial y económica para los escenarios de calefacción distrital. **Si las tasas se redujeran, por ejemplo, a las tasas ofrecidas por el Banco Mundial, que actualmente son de alrededor del 2%<sup>15</sup>, eso implicaría una reducción de los costos de capital y ayudaría a la viabilidad comercial y económica del proyecto.**

Vale la pena mencionar que el establecimiento de paneles solares térmicos en el Escenario 3.2 presenta un ligero aumento en los costos anuales totales en comparación con el Escenario 3.1. Esto se debe a que los costos de capital asociados con su establecimiento compensan la reducción en los costos de operación de los paneles solares térmicos.

<sup>15</sup> <https://data.worldbank.org/indicador/FR.INR.RINR?locations=CL>



Aunque el establecimiento de paneles solares térmicos parece inviable, podría reducir la dependencia de la biomasa (es decir, una separación de riesgos al no depender de una sola fuente de calor) y posiblemente reducir aún más las emisiones. Además, si se identificara un área mayor para los colectores solares, un sistema más grande mejoraría la viabilidad de SDH debido a la economía de los efectos de escala.

### Pre factibilidad pública-económica

Después de determinar que los escenarios para implementar calefacción distrital en Cochrane no son factibles desde una perspectiva económica privada, vale la pena investigar su viabilidad de un punto de vista público. Existen tres diferencias principales entre el análisis público y el privado:

1. Las emisiones nocivas son consideradas, en este análisis las emisiones de MP2,5 reciben un valor monetario (4,49 USD/kg MP2,5). Se consideran factores de emisión para diferentes tipos de unidades de producción, según la indicación de la contraparte. Los costos de emisión en cada escenario se suman luego de los costos estimados en el capítulo anterior.
2. Los costos de inversión inicial se estiman sin IVA, ya que los impuestos en general se consideran costos que se transfieren dentro de la sociedad. Esos son por lo tanto despreciados. Los costos de mano de obra tienen descuentos a partir de la especialización de ella.
3. La tasa de descuento social para una inversión se establece en 6% en lugar del 12% utilizado en la evaluación económica privada. Los niveles de inflación se mantienen al 3% anual, lo que arroja una tasa de descuento del 3% para la evaluación de la viabilidad pública - económica.

Teniendo en cuenta lo anterior, las emisiones de MP2,5 se calculan para cada escenario. El consumo de combustible de biomasa (lenga) se calcula en energyPRO. Posteriormente, se convierte en emisiones acumuladas en cada escenario, utilizando los factores de emisión para diferentes tipos de unidades de producción, que son proporcionadas por la contraparte. En la tabla inferior se puede ver una descripción general de los factores de emisión utilizados en la estimación de las emisiones totales. En el Apéndice 1 se puede ver una descripción general detallada de los factores de emisión y el cálculo de los costos de emisión.



Tabla L.2. Factor de emisión para las diferentes unidades de producción en gr MP2,5 / kg biomasa.

Factores de emisión, leña húmeda	gr/kg
Estufa a leña, municipalidad	22,10
Caldera a biomasa, otros edificios públicos <sup>16</sup>	1,36
Estufa a leña, viviendas	21,20
Caldera a biomasa <sup>17</sup> , calefacción distrital	0,19

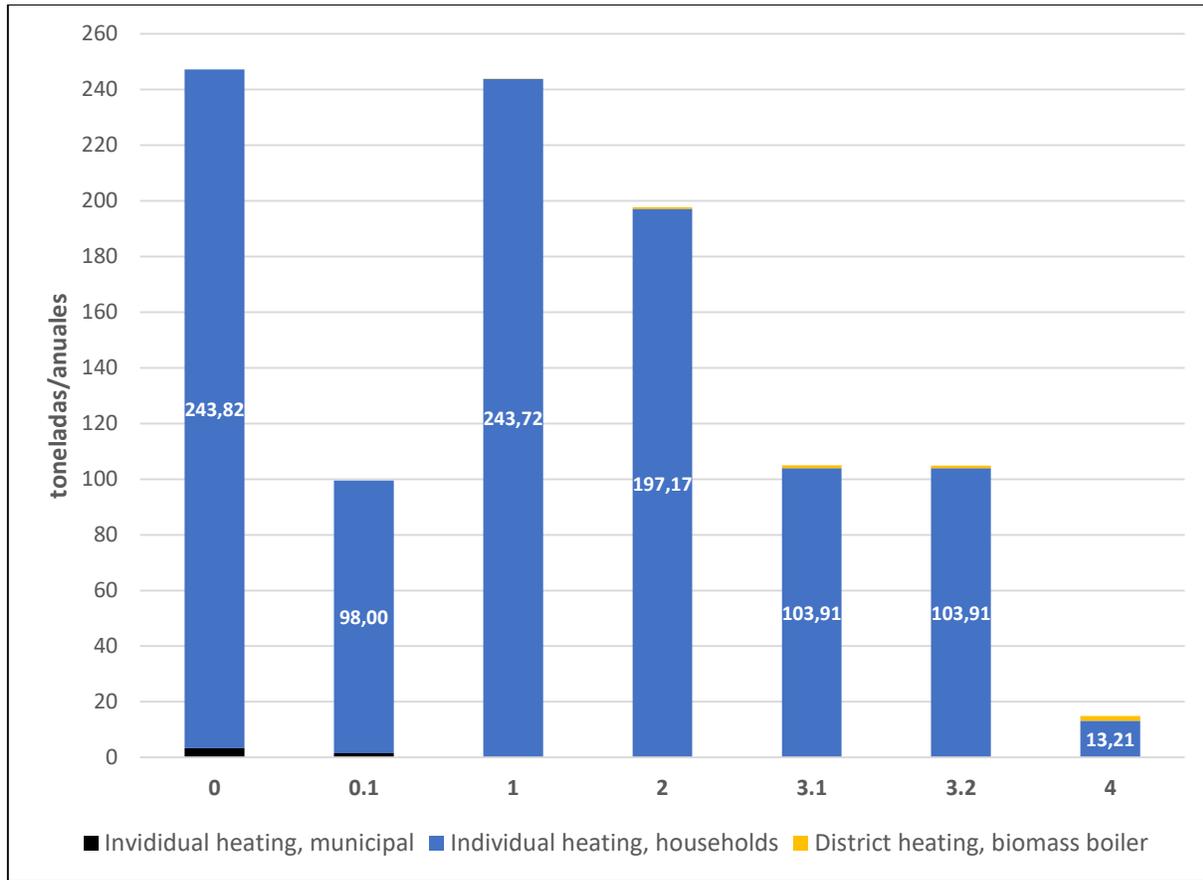
Fuente(s): Elaboración propia

Estos factores de emisión se multiplican por el consumo de combustible de cada tipo de unidad y se convierten de m<sup>3</sup> a toneladas de leña húmeda, utilizando una densidad de 621 kg / m<sup>3</sup>, para calcular las emisiones totales para cada escenario en toneladas / año, ver figura inferior.

<sup>16</sup> Excluyendo municipio.

<sup>17</sup> Factor de emisión para calderas de biomasa considerando control de MP (precipitador electrostático) de AP-42.

Figura L.5. Emisiones de MP2,5 en todos los escenarios.



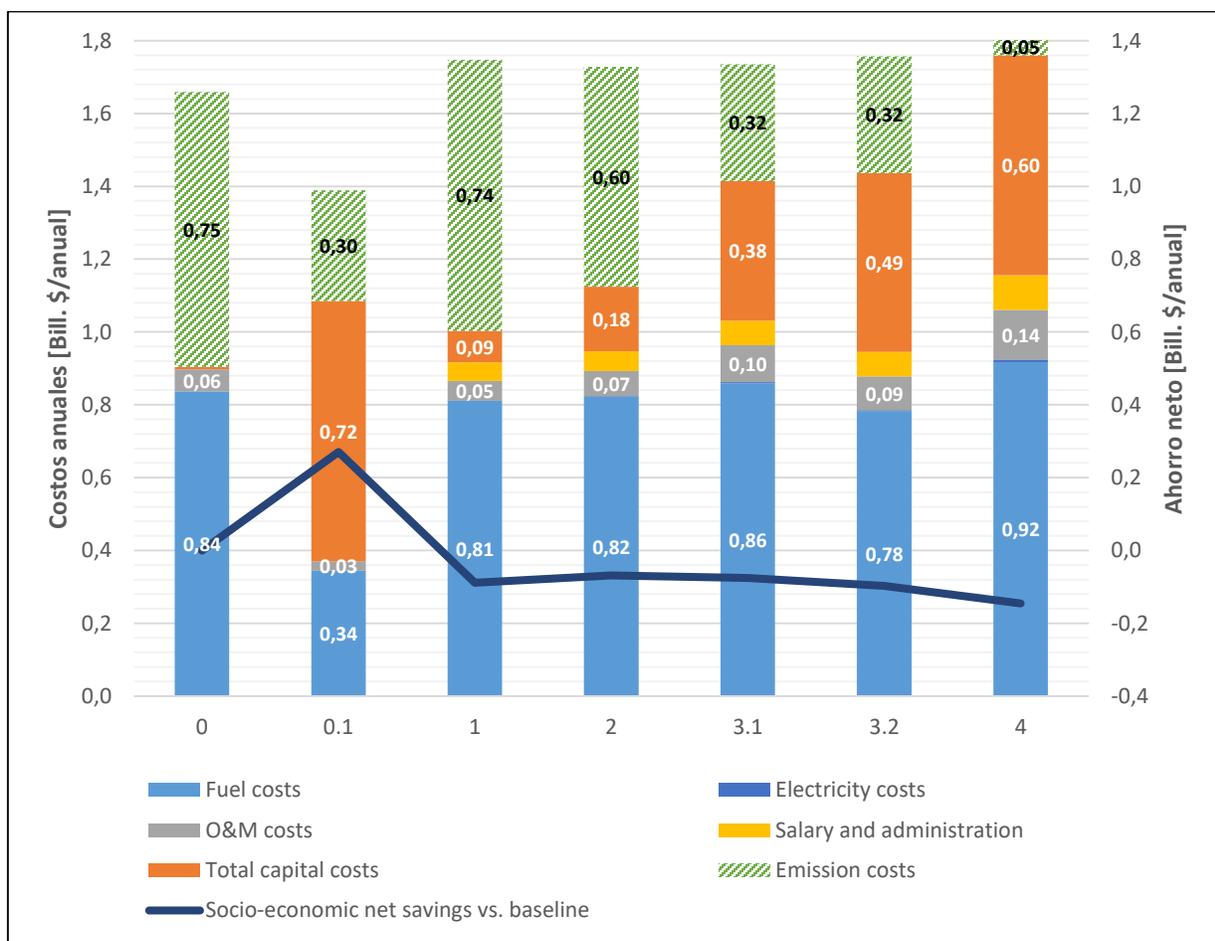
Nota: Individual heating= Calefacción individual. Households= Viviendas. District Heating, biomass boiler. Calefacción distrital con caldera a biomasa.

Como se ve en la figura superior, la reducción en las emisiones de MP2,5 está directamente relacionada con la proporción de hogares conectados a la red distrital, el Escenario 4 presenta la mayor reducción de las emisiones de MP2,5. Esto puede atribuirse al factor de emisión muy bajo para las calderas de biomasa debido al uso de precipitadores electrostáticos, que es más de 100 veces menor que el factor de emisión para las estufas de leña en los hogares.

Además, se puede concluir que el mejoramiento térmico (de acuerdo al estándar del PDA de Coyhaique) de viviendas y edificios es una medida efectiva para reducir las emisiones de MP2,5. No obstante, la reducción drástica de emisiones en el escenario de mejoramiento térmico es el resultado de la gran reducción en la demanda de calor por parte de los edificios y viviendas, mientras que las emisiones por m<sup>3</sup> de biomasa siguen siendo las mismas.

Por último, pero no menos importante, para estimar los costos de emisión para todos los escenarios, se utilizó un precio de MP2,5 de 4,49 USD / kgMP2,5, según lo informado por el MMA. Esto es igual a aproximadamente 3.050 \$ / kg MP2,5. Los costos totales de emisión se suman a los costos anuales en cada escenario, lo que da una visión general de los costos anuales acumulados desde una perspectiva pública, ver figura inferior.

Figura L.6. Costos anuales público-económicos y ahorro neto.



Nota: Fuel costs= Costos de combustible. O&M costs= Costos de operación y mantenimiento. Total capital costs =Costo total de inversión de capital -valor residual. Electricity costs= Costos de electricidad. Salary and administration= Salarios y gastos de administración. Socio-economic net savings vs base line= Evaluacion social de ahorros netos vs línea base.

La figura anterior muestra la correlación directa entre las emisiones totales y los costos de emisión en cada escenario, que se reducen drásticamente en los escenarios con una tasa de conexión a la red distrital más alta. No obstante, al precio de emisión actual, los ahorros en los costos de emisión



no son suficientes para generar ahorros netos públicos en los escenarios de calefacción distrital. Por otro lado, acondicionamiento térmico se muestra como una medida costo-efectiva desde el punto de vista público.

Esto también es corroborado estimando el VAN social del proyecto, tal como se puede ver en la tabla inferior.

**Tabla L.3. VAN social de la inversión en todos los escenarios.**

Escenario		0.1	1	2	3.1	3.2	4
VAN social	Bill. \$	3,2	-1,3	-1,1	-1,2	-1,6	-2,2

Fuente(s): Elaboración propia

Sin embargo, la tendencia general es que los precios de las emisiones aumenten en el futuro inmediato. Los ejemplos de países como Dinamarca muestran precios de aprox. 25,4 USD / kgMP2,5<sup>18</sup>, que es más de cinco veces mayor que los precios utilizados para el caso en Cochrane. Por lo tanto, es posible suponer que el establecimiento de calefacción distrital en Cochrane podría presentar ahorros públicos. **El precio de emisión necesario para alcanzar un punto de equilibrio público-económico (ahorro neto de 0 \$ / año) comparado con la línea base es de 5,27 USD / kgMP2,5 y 5,41 USD / kgMP2,5 para el Escenario 3 y respectivamente Escenario 4. Por lo tanto, el establecimiento de DH tiene un gran potencial para generar ahorros públicos en el futuro.**

Para garantizar reducciones reales de emisiones atmosféricas, el proyecto de calefacción distrital debe solo debe aplicarse utilizando biomasa sostenible, es decir, asegurando que no haya deforestación de áreas forestales originales y replantación de áreas utilizadas para la producción industrial de madera. Idealmente, la biomasa necesaria debe provenir de residuos de madera, donde esta se usa para fines de fabricación y los residuos se usan en las calderas de calefacción distrital. El uso de biomasa certificada<sup>19</sup> es clave para evitar las externalidades ambientales negativas de la operación de la planta y garantizar la aceptación pública a nivel local, nacional e internacional. Esto puede tener una influencia importante cuando se trata de atraer inversores y / o apoyo para la realización de un proyecto de calefacción distrital de actores como, por ejemplo, el Banco Mundial.

<sup>18</sup>[https://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/R1702\\_energieffektivitet\\_boligopvarmning.pdf](https://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/R1702_energieffektivitet_boligopvarmning.pdf)

<sup>19</sup> El estándar de certificación está compuesto por 4 principios, 13 criterios y 33 indicadores, los cuales son verificados a través de documentos, mediciones, registros, entre otros medios de prueba. El primer principio se enfoca al cumplimiento de la legislación, sea esta de carácter forestal, ambiental, tributario, laboral, sanitario, de transporte, además de las ordenanzas municipales. El segundo principio hace énfasis en el origen de la leña, exigiendo el cumplimiento del Plan de Manejo Forestal. El tercer principio se refiere a la calidad del producto, principalmente al contenido de humedad, estableciendo un máximo de 25% de contenido al producto leña para ser comercializado. El cuarto principio exige informar al consumidor adecuadamente acerca de lo que está comprando (especie, contenido de humedad, volumen, unidades de venta, etc.). <http://lena.cl/que-es-el-sncf/>



También se debe tener en cuenta que las emisiones aparte del MP2.5, deben ser evitadas durante la operación de las calderas de biomasa. Por lo tanto, se deben tomar las medidas necesarias para garantizar que, si se establece la planta, emisiones de NOx y SO2 también se consideren.

Quando se considera el valor público-económico de reducir las emisiones nocivas para la salud humana y medio ambiente, no es posible asignar un valor monetario a todos los factores relevantes. **Si bien a algunas de las emisiones nocivas se les asigna un precio determinado, y su reducción tiene un efecto monetario positivo en la economía pública, es difícil determinar el valor de mejorar la salud general de los habitantes de Cochrane. Teniendo esto en cuenta, si el propósito de establecer un proyecto de calefacción distrital en Cochrane es mejorar la calidad de vida de sus habitantes y aumentar el confort térmico de los recintos, entonces es claramente una buena opción y se recomienda seguir trabajando en esta línea.**

Si bien en este análisis se evalúa el acondicionamiento térmico de edificios y viviendas, además del establecimiento de calefacción distrital en diferentes escenarios, **es recomendado primero mejorar térmicamente las viviendas, luego implementar el proyecto de calefacción distrital.** Como se ve en la evaluación pública-económica, ambas medidas tendrían un impacto positivo en la reducción de emisiones nocivas y, por lo tanto, mejorarían la calidad de vida de los habitantes de Cochrane, al tiempo que mejorarían su confort térmico. **Alternativamente, se puede llevar a cabo los dos procesos simultáneamente, en principio esto reduciría los costos generales de inversión por vivienda, lo que mejoraría la viabilidad económica del proyecto.** La tasa de conexión a la red y el porcentaje de viviendas/edificios acondicionadas térmicamente, debe investigarse en otro estudio.

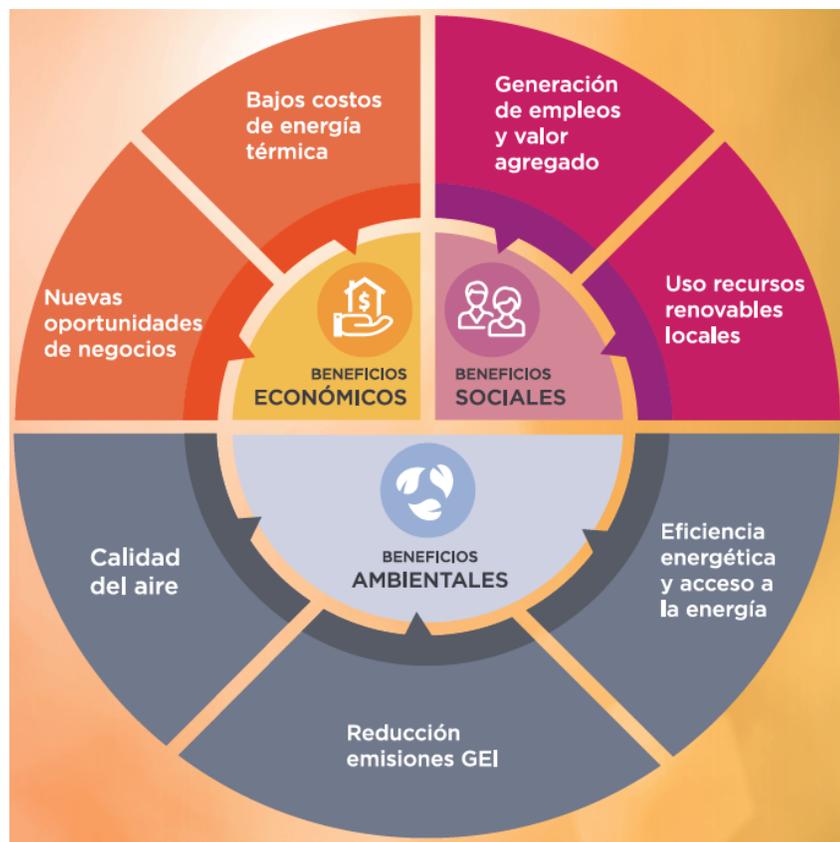
**La tasa de acondicionamiento térmico de Cochrane y por ende ahorro energético causado por este, debe decidirse antes de dimensionar la red de calefacción distrital.** Como se mostró en el punto J), una gran parte de las tuberías principales se utilizará tanto para el primer paso (Escenario 1) como para todas las extensiones siguientes de la red. Por lo tanto, **para no sobredimensionar o sub dimensionar las tuberías principales, es clave tener un plan para el desarrollo futuro de la ciudad.** El plan debe tener en cuenta estos dos parámetros: el alcance esperado de la red de calefacción distrital y la densidad de calor esperada.

Los cálculos actuales muestran una **reducción significativa de las emisiones de MP2,5 en los escenarios con una alta tasa de conexión a la red distrital. Sin embargo, factores claves tales como; los bajos precios del mercado informal de la biomasa y las altas tasas de descuento impiden que el proyecto sea económicamente factible. No obstante, en última instancia, se les debe dar una importancia menor al considerar cuál es el valor del aire limpio con respecto a la calidad de vida y el confort térmico interior.**

## M) Análisis y valorización de beneficios asociados al proyecto

La energía distrital brinda beneficios económicos, ambientales y sociales, tal como muestra la figura inferior. Por lo que se analizan los diversos beneficios que brindaría esta tecnología en Cochrane, y cuantifican algunos beneficios, tales como generación de empleos verdes, reducción del material particulado fino (MP2,5) entre otros.

Figura M.1. Beneficios de la energía distrital



Fuente: Manual de Energía Distrital, EBP 2018.

### Beneficios ambientales

Reducción de material particulado fino MP 2,5

Tal como se vio en el punto L), figura L.5, la situación actual de emisiones atmosféricas en Cochrane es compleja, con 244 toneladas de MP2,5 anuales, producto de la demanda de ACS y calefacción, proveniente principalmente de leña húmeda. La implementación del proyecto de calefacción



distrital, podría ayudar a reducir en hasta un 95% las emisiones de MP2,5, a una alta tasa de penetración de esta tecnología en el radio urbano de la ciudad.

Adicionalmente, cabe mencionar que la implementación de acondicionamiento térmico en base al estándar del PDA de Coyhaique, podría llegar a reducir las emisiones de MP 2,5 en hasta un 60% con respecto a la situación actual.

Considerando que la biomasa es considerada CO2 neutral en el país, el proyecto no tiene impacto en la mitigación de gases de efecto invernadero en Cochrane.

## Beneficios sociales

Dentro de los beneficios sociales del proyecto se encuentra la creación de 5 plazas nuevas de trabajos verdes dedicadas a la operación y mantenimiento de la planta.

Además, otro aspecto no menor a considerar tiene relación al confort térmico alcanzado en los edificios y viviendas, pues tal como se indicó en el punto D), la temperatura sería regulada con un termostato seteado en 21C (calefacción).

Si bien, no está cuantificado ni estudiado para el caso de Cochrane, si estudios internacionales afirman que *al igual que la alimentación, la salud física o el agua potable, el uso de la energía es sin duda un satisfactor sinérgico del desarrollo humano* (PNUD, 2018). El hecho de tener viviendas calefaccionadas en su totalidad, donde los habitantes por limitaciones económicas no tengan que cesar el uso de la calefacción, es sin duda un avance en materias de salud pública.

## Beneficios económicos

Si bien en Cochrane la calefacción no distrital no es viable desde el punto de vista de la inversión privada, ni tampoco desde un punto de vista público-económico, al precio asignado al MP2,5 hoy en día (4,49 USD/kg MP2,5). Sin embargo, se espera que en un futuro cercano Chile siga el ejemplo de otros países de la OECD, en la tendencia mundial de aumentar los precios al material particulado fino. Esto se hace más urgente, si se considera los costos en materia de salud pública incrementan, producto de la influencia del MP2,5 la agudización de enfermedades respiratorias estacionales, tales como la influenza u otras más complejas tales como el nuevo "Corona Virus" (COVID-19). Si todos estos factores se combinan, el resultado podría ser nefasto para el sistema de salud. Solamente se necesita un aumento del 17% en este precio, para comenzar a generar beneficios públicos-económicos en materia de salud y medio ambiente en la ciudad.



## N) Modelos de negocio y marco regulatorio

Con el objetivo de realizar el análisis de los distintos modelos de negocios posibles para llevar a cabo un proyecto de energía distrital en la ciudad de Cochrane, se tomará como base los distintos documentos emanados desde el Ministerio de Energía, que apuntan en dicha dirección, y que orientan en términos legales y administrativos la factibilidad de llevar a cabo un proyecto de esta envergadura. Luego de revisado los documentos; Manual de Desarrollo de proyectos Energía Distrital (EBP, 2018), Estudio Normativo para la Energía Distrital en Chile, tomo I y II (Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile, 2019), y Asesoría jurídica para la ejecución de proyectos de Energía Distrital (EBP, 2020), se expondrán la totalidad de los modelos levantados, experiencias internacional, y luego se explican los 3 regímenes legales y sus cuerpos normativos que permiten implementar proyectos de energía distrital en el marco institucional chileno. Con esta base, se presentará una breve descripción de la comuna de Cochrane, para finalizar proponiendo 2 modelos de negocios para llevar a cabo un proyecto de calefacción distrital en Cochrane. Un primer modelo será presentado bajo una orientación que permita la instalación inmediata, bajo la normativa actual, de un sistema distrital. El segundo modelo presentado, será orientado bajo la certidumbre que entrega de la ley 21.200 (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2019), promulgada el 23 de diciembre del año 2019, que modifica el capítulo XV de la constitución política de Chile, que permite la realización de un proceso constituyente, por tanto, la posibilidad de un cambio institucional profundo, que abre oportunidades para la creación de nuevas normativas, y desde ahí, la factibilidad en la comparación con todas las formas de implementación y administración de un sistema de calefacción distrital.

Cada modelo de negocio contemplará los siguientes criterios: **inversión, propiedad del sistema, operación y mantención y la recepción de ingresos**. A su vez, se aplicarán criterios en igualdad de condiciones para todos los modelos de negocios, donde se encuentran: **la provisión de energía**, que será a través de biomasa y energía solar, dependiendo del escenario utilizado, **la vida útil del proyecto**, calculada a 20 años según el estudio realizado, **y las restricciones urbanísticas y/o ambientales**, que, según los escenarios y la normativa aplicada para la realización de este informe, no generan dificultades para su implementación, pues no existe aún un plano regulador en la comuna de Cochrane, o sea que no existen limitaciones urbanísticas claras, y ambientalmente, en cuanto a la normativa térmica, es utilizada la normativa del PDA de Coyhaique.

### Modelos de Negocios

Para llevar a cabo un proyecto de calefacción distrital, lo primero es situar que existen 2 tipos de actores con potencial intencionalidad en llevarlos a cabo, el sector público y el sector privado, donde el grado de participación puede ir, desde un modelo 100% público a uno 100% privado. A su vez, es también reconocible la necesaria interacción de ambos en este tipo de iniciativas, tanto en términos de la implementación, como de operación, ejemplo de ellos es que el sector público, hoy, no tiene las competencias técnicas y administrativas, para implementar de manera autónoma un sistema de calefacción distrital, como el sector privado, no podría implementar un proyecto sin hacer uso de



bienes de uso público, o para el caso particular de la realización de proyectos dentro de una copropiedad, tendrá que cumplir normativas urbanísticas y ambientales, reguladas por el sector público.

Por otro lado, un proyecto de calefacción distrital, requiere de una gran inversión, lo que inherentemente conlleva un riesgo para el inversor, ya sea público o privado, por lo que la combinación público privada, al distribuir los riesgos, minimiza el costo de infraestructura y sus servicios para el sector público, pero a su vez permite generar mecanismos que faciliten el financiamiento privado, a través de ingresos mínimos garantizados o subsidios.

En cuanto a la evaluación de proyectos, también existe una diferencia entre una inversión privada y Estatal, pues los criterios de evaluación social de proyectos, realizada por el Estado, permite cuantificar los costos de las externalidades o los beneficios no monetarios que van asociados al desarrollo de proyectos, haciendo viables proyectos que de manera privada no se podría. Asimismo, existen diferencias en la tasa de descuento utilizada, 6% en el caso público y 12% en el caso privado, como los criterios de aprobación según los indicadores económicos, pues el Estado tiene como fin tener un *valor actual neto* igual o mayor que cero, mientras que un proyecto privado, considera dicho indicador como un indicador de comparación entre distintas alternativas de inversión. Por tanto, la combinación de ambas evaluaciones puede lograr viabilizar proyectos.

En resumen, se presentan 6 modelos de negocios; 100% Público, Propietario, Joint Venture público privado, Cooperativa, Concesionario y Contratación 100% privado. Es necesario comentar que el modelo “Contratos de Suministro de Energía”, fue obviado de este informe, a propósito que es un modelo que funciona si y solo si, se encuentra operativa una red de calefacción distrital privada, por lo que para este estudio no aplica.

### Modelo 100% Público

En este modelo de negocio, uno o más organismos del sector público financia y se encarga del desarrollo y la operación del sistema de Energía Distrital, sin perjuicio de que los aspectos técnicos del proyecto y la operación sean realizados por terceros. La propiedad del sistema está en manos del sector público (EBP, 2018).

Para este tipo de modelo, los clientes, mientras estén en la zona de distribución de energía, pueden ser públicos y privados.

Este modelo, en Chile, es practicable solo a través de las Municipalidades, pues la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, a través de la modificación del año 2011, permite crear “asociaciones municipales”, conformadas por dos o más municipalidades, que sí pueden constituirse en empresas de derecho privado, sin fines de lucro, y que pueden funcionar mediante los ingresos que obtengan mediante la venta de bienes o servicios (EBP, 2018).



## Modelo Propietario

Desde el punto de vista del sector público, este tipo de modelo es impulsado por alguna institución pública, como un hospital, un campus universitario o una municipalidad, quien estará a cargo del financiamiento, desarrollo y operación del sistema de Energía Distrital. A diferencia con otros modelos, en este caso no se perciben ingresos directos, sino que se generan ahorros comparativos con otras alternativas o en relación al sistema de abastecimiento previo, siendo la operación de responsabilidad del "propietario" (EBP, 2018).

Este modelo también aplica para un propietario 100% privado, como lo puede ser un condominio residencial o un parque industrial.

## Modelo Joint Venture Público Privado

El modelo de Joint Venture público - privado corresponde al acuerdo entre uno o más actores del sector público y uno o más actores del sector privado, con la finalidad de poner en común sus recursos y colaborar para llevar a cabo el desarrollo del proyecto de calefacción distrital, permitiéndoles obtener un beneficio mutuo y compartiendo el riesgo que conlleva toda operación empresarial (EBP, 2018).

Este modelo plantea, que no solo la inversión pecuniaria debiese ser compartida, sino que abre la posibilidad a que las distintas partes puedan aportar desde sus propias competencias, asumiendo distintos roles. Por ejemplo, el estado puede financiar la red de distribución, y la empresa privada la central de generación, y luego ocuparse de la operación y mantención del sistema.

## Modelo Cooperativa

Es un modelo de negocio en el cual una asociación municipal, un grupo de privados, o una mezcla de ambos, establecen una cooperativa para el financiamiento, desarrollo y operación de un sistema de Energía Distrital. En la cooperativa, los usuarios conectados a la calefacción distrital son a la vez propietarios de la cooperativa, y son además quienes la controlan la empresa, teniendo cada usuario igual derecho a voto (EBP, 2018).

En este modelo, los usuarios, que la vez son dueños del sistema, deben tener un sistema de gobernanza claro, pues todos los usuarios y dueños del sistema tienen igual derecho a la toma de decisiones de la cooperativa. Donde, además, los excedentes son repartidos en base a los consumos de sus usuarios.

## Modelo Concesión

Bajo este modelo, el sector público concesiona el servicio de Energía Distrital y el sector privado es quien se hace cargo de la construcción y operación de las obras. De esta manera, se aumenta la eficiencia con respecto a los organismos públicos considerando que estos no tienen la función de ser especialistas, por ejemplo, en el desarrollo y operación de proyectos de calefacción distrital (EBP, 2018).



Una concesión, más allá del tipo de proyecto, tiene un tiempo determinado y los contratos tienen cláusulas de cumplimiento, las que están asociadas a la calidad y continuidad del servicio, mantenimiento, monitorio, etc... Las concesiones, una vez terminados los contratos, permiten que la infraestructura vuelva a ser propiedad del sector público.

## Modelo Contratación 100% privado

Un inversionista o un grupo de inversionistas, se hace cargo del desarrollo, financiamiento y operación de un sistema de Energía Distrital. La inversión genera utilidades para el o los inversionistas a través de la venta de calor a terceros, que pueden ser personas individuales, empresas o el sector público (EBP, 2018).

Destacar que este modelo, donde si bien el sector público no participa como inversionista, operador, propietario o receptorista de ingresos, si es relevante su participación, pues, para el caso de la utilización de bienes de uso público, es el Estado quien regula, como también lo es para el caso de las distintas restricciones urbanas y medioambientales.

## Resumen y Comentarios

### *Resumen*

Para graficar cada modelo, se presenta la Figura , que muestra los distintos modelos de negocios y el respectivo involucramiento y roles, tanto del sector público como de potenciales inversionistas privados, dejando claro los criterios de inversión, propiedad del sistema, operación y mantenimiento y la recepción de ingresos.

Figura N.1. Principales modelos de negocios.

		Participación de Inversionista o ESCO					
		100% PÚBLICO	PROPIETARIO	JOINT VENTURE	COOPERATIVA	CONCESIONARIO	CONTRATACIÓN
SECTOR PÚBLICO	Inversionista Propietario Operador Receptor ingresos	Inversionista Propietario Operador	Inversionista Propietario Receptor ingresos	Inversionista Propietario Garantía financiera	Propietario		
	RIESGO	RIESGO	RIESGO	RIESGO	RIESGO	RIESGO	RIESGO
INVERSIONISTA (externo)			Inversionista Propietario Operador Receptor ingresos	Inversionista Propietario Operador Receptor ingresos	Inversionista Operador Receptor ingresos Propietario	Inversionista Operador Receptor ingresos Propietario	
	RIESGO	RIESGO	RIESGO	RIESGO	RIESGO	RIESGO	RIESGO
	RENTABILIDAD	RENTABILIDAD	RENTABILIDAD	RENTABILIDAD	RENTABILIDAD	RENTABILIDAD	RENTABILIDAD

Indica que la rentabilidad o riesgo son altos en comparación con otros modelos de negocio.  
 Indica que la rentabilidad o el riesgo son bajos en comparación a los otros modelos de negocio.  
 Indica que la rentabilidad o riesgo son moderados en comparación con otros modelos de negocio.

**Asociaciones público privadas APPs**

Nota: La figura superior muestra los diferentes grados de involucramiento de actores del sector público y privado, el riesgo asociado y la rentabilidad del proyecto.

Fuente: Manual de Desarrollo de proyectos de Energía Distrital (EBP, 2018).

Con el objetivo entregar elementos sobre cada modelo de gestión, se presenta la siguiente tabla, donde se presentan las ventajas y desventajas de cada modelo.

**Tabla N.1. Cuadro comparativo de ventajas y desventajas según modelo de negocio.**

Modelo	Ventajas	Desventajas
<b>100% Público</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite generar ingresos para los municipios, que pueden ser invertidos nuevamente para mejorar o ampliar la cobertura del sistema.</li> <li>- Existe un 100% del control en un único actor.</li> <li>- Se pueden incorporar externalidades y beneficios no monetarios en la evaluación del proyecto (p.ej. contaminación, gases de efecto invernadero, mejora en la calidad del suministro, etc.).</li> <li>- Existe la posibilidad de externalizar la operación, manteniendo la propiedad de los activos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En Chile, las instituciones públicas no cuentan con experiencia para el desarrollo y la operación de un sistema de Energía Distrital.</li> <li>- La solicitud y planificación de financiamiento en el sector público es por lo general un proceso largo.</li> </ul>
<b>Propietario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando los edificios usuarios del sistema estén dentro de un territorio que no cruce Bienes Nacionales de Uso Público (condominios, o universidades, por ejemplo), se eliminan los procedimientos requeridos para el uso de éstos.</li> <li>- Existe un 100% del control en un único actor.</li> <li>- Posibilita enfocar en objetivos no monetarios (p.ej. contaminación, gases de efecto invernadero, mejora en la calidad del suministro, etc.)</li> <li>- Existe la posibilidad de externalizar la operación, manteniendo la propiedad de los activos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuando las instituciones se hacen cargo de las tareas de operación y mantenimiento, existe una tendencia a generar ineficiencias en los costos, ya que no cuentan con la expertise necesaria.</li> </ul>
<b>Joint Venture</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existe una diversificación o compartimiento del riesgo, pudiendo generar mejores condiciones financieras.</li> <li>- Sector privado / público aportan con sus principales fortalezas: Sector público: facilita el uso de bienes públicos, establece un marco de operación, garantiza compras a largo plazo, etc. Sector privado: Especialista en diseño construcción y operación de la planta.</li> <li>- Mayor eficiencia en la operación, debido a la operación profesionalizada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Control compartido, obliga a compromisos en el proyecto por las distintas partes.</li> </ul>
<b>Cooperativa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Financiación y riesgo altamente compartido a largo plazo.</li> <li>- Modelo participativo garantiza una amplia aceptación de la Energía Distrital.</li> <li>- Autoridad local típicamente provee garantías financieras al inicio para que la cooperativa pueda asegurar financiamiento de bajo costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura Democrática puede ser poco flexible y ágil.</li> </ul>
<b>Concesionario</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adecuado para la implementación de un sistema de Energía Distrital en edificaciones existentes, debido a su mayor costo de inversión inicial.</li> <li>- Para el sector privado puede ser más atractivo que otros modelos, ya que existen herramientas para facilitar el financiamiento: ingresos mínimos garantizados, subsidios, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es posible que desde el sector público no existan las capacidades para poder establecer claramente las condiciones técnicas y la fijación de tarifas en el proceso de concesión, que permitan un servicio confiable y seguro.</li> <li>- Sector privado toma alto riesgo, lo que podría traducirse en precios más altos hacia el sector público.</li> </ul>
<b>Contratación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Responsabilidad clara de una única entidad.</li> <li>- El sector público no toma riesgo.</li> <li>- Operación profesional de gente especializada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sector privado toma alto riesgo, lo que podría traducirse en precios más altos.</li> <li>- Sector público tiene poco o ningún control del sistema distrital.</li> </ul>

Fuente: Manual de Desarrollo de proyectos de Energía Distrital (EBP, 2018)



## Comentarios

Si bien todos los modelos de negocios presentados en este sub-capítulo poseen una definición clara, sumado a ventajas y desventajas, los cuales fueron levantadas del “Manual de Desarrollo de proyectos Energía Distrital” (EBP, 2018), se hace necesario comentar que existe un supuesto que, desde la perspectiva del autor de este informe, no necesariamente constituyen una realidad y pueden ser absolutamente relativizables.

- El aseverar que una desventaja del “modelo 100% público” es que *las instituciones públicas no cuentan con experiencia para el desarrollo y operación de un sistema de Energía Distrital* (EBP, 2018), o como una desventaja del “modelo propietario” que *cuando las instituciones se hacen cargo de las tareas de operación y mantención, existe una tendencia a generar ineficiencias en los costos, ya que no cuentan con la expertise necesaria* (EBP, 2018), y no plantear las mismas desventajas para el sector privado, expresa de manera implícita que el sector privado sí tendría la expertise, pero esto, al menos para el caso de Chile, no encaja con la realidad.

En Chile los proyectos *son escasos y han sido desarrollados en su mayoría en Santiago, a excepción de uno en la ciudad de Temuco* (EBP, 2018), donde solo existen 4 proyectos en funcionamiento, donde en los últimos 20 años se han desarrollado solo 3 proyectos, que sumados tienen un alcance de solo 172 viviendas. Por tanto, no es riguroso plantear que existe experiencia del mundo privado en la implementación y operación de estos sistemas en el contexto nacional. Por otro lado, si se puede plantear que existe experiencia del mundo privado en la implementación, operación y mantención de calderas y piping, pero no así de manera conjunta para sistemas distritales.

## Experiencia Internacional

Con el objetivo de ejemplificar las distintas posibilidades de modelos de negocios para sistemas de calefacción distrital, sin un sesgo administrativo nacional ni análisis de pertenencia, se presentan 3 distintas experiencias internacionales, que envuelven los modelos presentados. De esta forma, gracias al “Estudio Normativo para la Energía Distrital en Chile”, realizado por el Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile el año 2019, se describirán, en términos generales, cada experiencia.

### Reino Unido

En Reino Unido, solo el 2% de la demanda de calor se suministra a través de redes de calefacción distrital, llegando a 840.000 habitantes. El principal impulsor de la tecnología es el Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial (BEIS), donde los principales drivers para la implementación de proyectos de calefacción distrital son la sostenibilidad ambiental y la pobreza de combustible (pobreza energética).

Si bien, los gobiernos locales (municipios) son claves para el desarrollo de las redes de calefacción distrital, pues son los responsables de la planificación y políticas medioambientales a nivel local, y



son ellos los principales desarrolladores de los esquemas existentes, donde poseen, no siempre, inversores privados, cabe destacar que las corrientes de financiamiento privado han ido en aumento.

En Reino Unido, el BEIS, con el objetivo de incentivar el mercado, proporciona financiamiento para impulsar la construcción de redes de distribución. Esto lo hace a través de la Unidad de Suministro de Redes Térmicas, la cual se creó con el objetivo de apoyar a los municipios, ofreciendo financiamiento para el diseño de mapas de calor y estudios de viabilidad y apoyo continuo a las municipalidades en el desarrollo de los proyectos de calefacción distrital, lo que incluye desarrollo detallado de proyectos y su comercialización.

Por otro lado, se destaca la existencia de la “Asociación para la Energía Descentralizada”, cuyo objetivo es *comprometerse con el gobierno y los tomadores de decisiones clave para abogar por la energía descentralizada y proporcionar a los miembros una perspectiva sobre la política gubernamental. También facilita el intercambio de conocimientos y la cooperación dentro de la industria* (Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile, 2019). En otras palabras, actúa como un dinamizador del mercado.

En cuanto a la propiedad de las instalaciones, son los gobiernos locales los principales actores, donde estructuran a través de una compañía de propósito especial, que separa la operación de la red de calefacción de los servicios diarios del gobierno local y aísla el riesgo. Esta estructura también significa que es posible la inversión de empresas privadas con propiedad compartida.

## Islandia

El 92% de la población de Islandia es calefaccionada por sistemas de calefacción distrital, donde la gran mayoría de los sistemas provienen de fuentes geotérmicas, por tanto, las leyes y normativas técnicas sobre la implementación de proyectos están basadas en esta realidad. *La ley de energía principal, 58/1967, otorga al Ministro pertinente el derecho de emitir derechos exclusivos de distribución a los distribuidores de calefacción distrital que son propiedad mayoritaria del gobierno o municipalidad, sin eliminar los distribuidores de calor privados existentes, siendo estos últimos pocos y pequeños cuando la ley fue promulgada, y aún lo siguen siendo* (Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética en Chile, 2019).

La regulación es absolutamente centralizada, donde la autoridad competente es el Ministerio de Industria e Innovación, donde se aloja la autoridad nacional de energía, que es la institución reguladora que supervisa todos los permisos energéticos y proporciona las licencias para la explotación de energía. El Estado, a través del gobierno, puede negociar la participación, y desde ahí la garantía, de un proyecto de calefacción distrital, hasta en un 80% del costo, esto, siempre y cuando se requiera en bonos de los activos de la compañía, lo que incluye los ingresos anuales. En otras palabras, el Estado se hace parte del negocio, financia y se hace dueño de parte de los sistemas.



## Colombia

El desarrollo de la industria es bastante reciente, con solo 3 plantas funcionando al día de hoy, y un más en construcción. El principal driver para la implementación de proyecto de energía distrital en Colombia, es el fomento de la eficiencia energética a través de las políticas medioambientales. La regulación es escasa, donde los actores claves son sin duda la industria privada, pues son los actores que implementan y operan los sistemas. El Estado, a través de los Ministerios de Minas y Energía, Ambiente y Desarrollo Sostenible y Salud y Seguridad Social, entregan las distintas políticas sectoriales que impulsan la tecnología, y las normativas sobre eficiencia energética, ambientales y de seguridad para la construcción. A su vez, existen incentivos tributarios, impartidos por la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales, licencias y permisos para la construcción y uso público, que entregan los Municipios, y, a través de la Superintendencia de Industria y Comercio, se da protección a los usuarios por prácticas anticompetitivas o abuso de posición dominante, y la vigilancia y control de reglamentos.

## Regímenes legales y sus cuerpos normativos que permiten implementar proyectos de energía distrital

En Chile no existe una regulación jurídica expresa y específica en materia de Energía Distrital y, por lo tanto, el ordenamiento jurídico nacional no tiene una definición de qué se entiende por estos sistemas ni regula la realización de las actividades propias de su operación o prestación de servicios. Sin embargo, aquello **no limita ni prohíbe su existencia en nuestro país** (EBP, 2018).

Desde ahí, podemos diferenciar 2 tipos de proyectos de calefacción distrital, aquellos proyectos que se realizan dentro de una copropiedad, y aquellos proyectos que utilizan bienes de uso público. Para el caso de este estudio, todas las alternativas y escenarios presentados incorporan en su diseño el uso de bienes de uso público, por tanto, se describen las formas legales que el Estado tiene para la incorporación de la tecnología de calefacción distrital como una alternativa real, la cual da certeza al mercado que existe factibilidad jurídica, económica y financiera para ejecutar este tipo de proyectos. De esta forma, se describen, en términos generales, los sistemas de concesión del Ministerio de Obras Públicas, el sistema de financiamiento urbano compartido, y el de concesiones municipales.

### Sistema de concesiones del Ministerio de Obras Públicas

Esta alianza público-privada consiste en *un acuerdo, de largo plazo, entre entidades del sector público y del sector privado, para la generación y operación de obras y/o provisión y servicios que son responsabilidad del Estado, o requeridos por éste para cumplir sus funciones* (Ministerio de Obras Públicas, 2016). Así, *el Estado es el titular de estos proyectos pudiendo éste actuar por el órgano del Estado que sea competente de acuerdo a la ley, a través de convenio mandato al MOP; o directamente por éste, si resulta tener competencias de manera directa. Luego, destaca el*



*concesionario, quien es el privado que ya sea a partir de la presentación de una iniciativa privada de concesión o de su presentación al proceso licitatorio respectivo, resulta adjudicatario de la concesión respectivo. Como terceros, también destacan los inversionistas o financistas, que, si bien no están vinculados directamente con el Estado, sí se encuentran contemplados por el Sistema, según se verá más adelante. Por último, se encuentran los usuarios, que son quienes previo pago de la tarifa hacen uso de la infraestructura y/o servicios concesionados (EBP, 2020).*

Este sistema es regulado por la Ley de Concesiones, la que sumamente amplía en cuanto al objeto, alcance y prestaciones. *La ejecución, reparación, conservación o explotación de obras públicas fiscales. Comprende el tradicional concepto de contrato de ejecución de obra pública y el contrato de concesión de obra pública en la que infraestructura y servicios van de la mano (EBP, 2020).*

Para el caso de un proyecto de calefacción distrital, la infraestructura a ejecutar y mantener estaría dada por una o más centrales térmicas y centro de acopio, y la generación, transmisión y distribución de la energía térmica sería el servicio a brindar por la concesión.

Cabe destacar que este sistema tiene vasta experiencia en Chile, sobre todo para la construcción de infraestructura vial, como carreteras, túneles o aeropuertos, además, se han construido hospitales, plantas desalinizadoras y embalses, entre otros, bajo esta modalidad.

#### Sistema de financiamiento urbano compartido

*El sistema de financiamiento urbano compartido surge como una alternativa al sistema de concesiones de obra pública para el desarrollo urbano de las ciudades que, a través de Municipalidades y SERVIU pretende abarcar proyectos de una escala un poco menor que probablemente no resulten absolutamente rentables, y que se puedan beneficiar del intercambio de activos entre Estado y particulares (EBP, 2020). Este régimen nace en el año 2003, y se regula por la Ley N° 19.865.*

Los titulares de este tipo de sistema son las Municipalidades o el SERVIU, pero que a través de la alianza público privada, permite al privado la participación desde la ejecución, operación o la mantención total o parcial de una obra por un período determinado.

En este sistema una persona natural o jurídica puede presentar una idea de proyecto que, si es declarada de descuento público por el Municipio o SERVIU – previa aprobación del Concejo o Seremi Minvu, respectivamente- debiese licitarse. A esta licitación, tal como ocurre en el sistema de concesiones, y con la sola excepción del premio en puntaje para quien tuvo la idea, se le aplican los principios generales de contratación administrativa, esto es: igualdad de los oferentes, libre concurrencia y estricta sujeción a las bases (EBP, 2020).

#### Sistema de Concesión Municipal

La Constitución Política de Chile, en su capítulo XIV, sobre gobierno y administración del Estado, en su artículo 118 indica que “la Administración local de cada comuna o agrupación de comunas que determine la ley reside en una municipalidad, la que estará constituida por el alcalde, que es su



máxima autoridad, y por el concejo”. Donde, además, en la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, se destaca que:

-“Artículo 3°.- Corresponderá a las municipalidades, en el ámbito de su territorio, las siguientes funciones privativas: ...c) La promoción del desarrollo comunitario;...”.

-“Artículo 4°.- Las municipalidades, en el ámbito de su territorio, podrán desarrollar, directamente o con otros órganos de la Administración del Estado, funciones relacionadas con:...b) La salud pública y la protección del medio ambiente;...”.

-“Artículo 5°.- Para el cumplimiento de sus funciones las municipalidades tendrán las siguientes atribuciones esenciales:...c) Administrar los bienes municipales y nacionales de uso público, incluido su subsuelo, existentes en la comuna, salvo que, en atención a su naturaleza o fines y de conformidad a la ley, la administración de estos últimos corresponda a otros órganos de la Administración del Estado....”.

- “Artículo 63° .- e) Administrar los recursos financieros de la municipalidad, de acuerdo con las normas sobre administración financiera del Estado; f) Administrar los bienes municipales y nacionales de uso público de la comuna que correspondan, en conformidad a esta ley; g) Otorgar, renovar y poner término a permisos municipales; h) Adquirir y enajenar bienes muebles;”, “...k) Coordinar el funcionamiento de la municipalidad con los órganos de la Administración del Estado que corresponda;”, “l) Ejecutar los actos y celebrar los contratos necesarios para el adecuado cumplimiento de las funciones de la municipalidad; m) Convocar y presidir, con derecho a voto, el concejo; como asimismo, convocar y presidir el consejo comunal de organizaciones de la sociedad civil y el consejo comunal de seguridad pública;”.

- “Artículo 65° .- “...d) Establecer derechos por los servicios municipales, y por los permisos y concesiones; e) Aplicar los tributos que graven actividades o bienes que tengan una clara identificación local y estén destinados a obras de desarrollo comunal; f) Adquirir, enajenar, gravar, arrendar por un plazo superior a cuatro años o traspasar a cualquier título, el dominio o mera tenencia de bienes inmuebles municipales o donar bienes muebles; g) Expropiar bienes inmuebles, para dar cumplimiento al plan regulador comunal;”, “...j) Suscribir los convenios de programación<sup>14</sup>, y celebrar los convenios y contratos que involucren montos iguales o superiores al equivalente a 500 unidades tributarias mensuales; k) Otorgar concesiones municipales, renovarlas y ponerles término;”.

De esta manera, una Municipalidad puede concesionar perfectamente un sistema de calefacción distrital, donde se deberá tener la venia del concejo municipal. Ahora, en cuanto al procedimiento, no se requiere la aprobación del Concejo Municipal en la elaboración de Bases, pero si en la decisión de adjudicar (EBP, 2020).



Cuadro comparativo con las distintas características de los distintos regímenes legales  
A través de la siguiente tabla, la cual fue elaborada por la “Asesoría Jurídica para proyectos de Energía Distrital”, por la empresa EBP el año 2020. Se presenta un cuadro resumen con las características más relevantes de cada sistema.

Tabla N.2. Características Sistemas de Concesión.

Características de cada sistema	Sistema Concesiones MOP	Sistema FUC	Sistema Concesiones Municipales
<b>Tipo de regulación</b>	Normativa sectorial, ley, Reglamento especial y bases de licitación.	Ley, Reglamento y bases de licitación.	Ley Orgánica de Municipalidades y bases de licitación.
<b>Antigüedad del sistema</b>	Desde 1990	Desde 2003	Desde 1986
<b>Alcance y envergadura</b>	Obras públicas Fiscales de envergadura	Obras de desarrollo urbano y equipamiento. Alrededor de 800.000 UF los más grandes.	Satisfacción necesidades de la comunidad, incluye bienes municipales, bienes nacionales de uso público. Suelo y subsuelo, similares a FUC en envergadura.
<b>Complejidad</b>	Alta	Media	Media baja
<b>Actores contemplados</b>	MOP/ Entidad mandante/Concesionario/ Financista/Usuarios	Municipio o SERVIU/ Concesionario/ Financistas incipientemente/ Usuarios	Municipio
<b>Iniciativa</b>	Privada/ MOP u órgano mandante de oficio	Municipio o SERVIU o Privada	Municipio
<b>Sectores aplicados</b>	Vialidad, Transporte, Público, Edificios Públicos, Hospitales, Cárceles	Estacionamientos Subterráneos	Basura, Terminales, Extracción de áridos, entre otros.
<b>Titular</b>	MOP o órganos con competencia legal vía convenio mandato	Municipios o SERVIUS	Municipios
<b>Institucionalidad y órganos incumbentes</b>	Consejo de Concesiones, Panel Técnico, Comisión Arbitral	Municipio o SERVIU, SEREMI MINVU o Concejo	Municipio o Concejo
<b>Procedimiento</b>	Licitación Pública con precalificación	Licitación Pública con precalificación si las bases lo disponen, según Reglamento.	Licitación pública. Según Dictamen CGR pudiera incorporarse precalificación.
<b>Tiempo de tramitación aproximado</b>	3-4 Años	1 año -1 ½	9 meses-1 año
<b>Éxito de los procesos licitatorios efectuados</b>	Alto	Bajo	Bajo
<b>Plazo máximo</b>	50 años	Acordado en Bases de licitación	Acordado en Bases de licitación
<b>Garantías</b>	Garantía de Seriedad Garantía de Construcción Garantía de Explotación Posibilidad de presentar póliza de seguro como garantía	Garantía de Seriedad Garantía de Fiel Cumplimiento del Contrato: -De obra -De explotación	Garantía de seriedad Garantía de fiel cumplimiento El resto de los mecanismos que determinen las bases
<b>Seguros</b>	Seguro de Responsabilidad Civil por Daños a Terceros Seguros por catástrofe Seguro de Accidentes personales	Pólizas de Seguro por las Obras e Instalaciones por Fuerza Mayor y Daños a Terceros Seguro de Responsabilidad Civil por Daños a Terceros	Los que determinen las bases de licitación
<b>Aporte Estatales</b>	Si	No	Aportes indirectos
<b>Resolución de conflictos</b>	Panel Técnico Comisión arbitral Corte de Apelaciones	Comisión Conciliadora	Justicia Ordinaria
<b>Formas de término</b>	Determinadas por ley taxativamente	Determinadas por ley taxativamente	Determinadas por ley pero se contempla posibilidad de término anticipado por descuento público.

Fuente: Asesoría Jurídica para proyectos de Energía Distrital (EBP, 2020).

## Propuestas Modelo de Negocios

Con el objetivo de proponer distintas alternativas para llevar a cabo un proyecto de calefacción distrital en la comuna de Cochrane, se estableció un criterio primario; entregar una propuesta que pueda ser llevada a cabo de manera inmediata, o sea que esté en el marco institucional, y una segunda propuesta que pueda ser llevada a cabo, pero no necesariamente bajo el marco institucional vigente, esto amparado bajo la ley 21.200, que abre la posibilidad a un cambio constitucional, por tanto a una nueva normativa.

Para definir los modelos de negocios a proponer, lo primero es definir la cadena de producción del sistema de calefacción distrital, de esta forma, se divide en el proyecto en 4 etapas para su producción: abastecimiento de biomasa, planta de biomasa y solar, sistema de distribución de calor y usuarios. Se describe cada etapa y los potenciales actores por etapa. Luego, se indican los criterios para la selección de actores, concluyendo en las propuestas de modelos de negocios.

### Descripción de etapas de cadena de producción

En la siguiente figura se grafican las etapas de la cadena de producción.

**Figura N.2. Cadena de Producción Sistema Calefacción Distrital.**



Fuente: Elaboración Propia

### *Abastecimiento de Biomasa*

La etapa de abastecimiento conlleva la producción de biomasa, la cual debe estar normada bajo los planes de manejo que exige CONAF, y la logística y transporte del combustible hacia la planta de biomasa.

Los actores que pudiesen operar en esta etapa son los actores forestales de la zona, como las asociaciones gremiales de agricultura y ganadería, dentro de la cual se destaca la Asociación Gremial



de Pequeños Agricultores y Ganaderos de Río Baker, organización sin fines de lucro que reúne a más de 65 pequeños productores de la cuenca del Baker, en la provincia de Capitán Prat.

### *Planta de Biomasa / Solar*

Esta etapa conlleva la operación y mantención de la o las plantas de energía térmica, biomasa y solar, dependiendo los escenarios que se plantean en este informe.

Los actores que pudiesen operar esta etapa se dividen en 2, pues en la gestión la de operación, pudiesen ser una empresa local o funcionarios municipales, siempre desde la base que los trabajadores estén capacitados para llevar a cabo dicha tarea. En cuanto a la mantención, debiese ser una empresa especialista en calderas la responsable, pero dicha gestión pudiese ser gestionada desde los operarios a modo de subcontratación. Por otro lado, también pudiese ser una empresa energética la que estuviera a cargo de dicha etapa en su conjunto.

### *Sistema de Distribución de Calor*

Esta etapa tiene que ver con el transporte del calor desde las plantas de biomasa y solar hacia los usuarios. Se ven involucradas en esta etapa, en términos físicos, la red de distribución primaria y secundaria, los respectivos intercambiadores de calor domiciliarios (radiadores) y los medidores de consumo energético. En términos de servicio, esta etapa conlleva la gestión de medición y cobranza de la energía.

Los actores que pudiesen operar esta etapa se dividen en 2, en cuanto a la mantención de los sistemas de distribución, una empresa energética especialista debiese estar a cargo, para el caso del servicio de cobranza, también pudiese ser una empresa energética, pero podría existir una empresa local a cargo de dicha tarea. Por otro lado, en Chile existen municipios que llevan a cabo distintos servicios de distribución de energía eléctrica o agua, como los es la Municipalidad de San Pedro de Atacama, a través de CESP, y la Municipalidad de las Guaitecas, en el caso de energía eléctrica, o Maipú, a través de Smapa, que distribuye agua potable a sus habitantes. De esta forma, no se puede descartar a la Municipalidad como un potencial actor en la gestión de cobranza de la tarea de distribución de calor de un sistema distrital.

### *Usuarios*

Para el caso de este estudio, los usuarios se dividirían en 3, viviendas particulares, municipalidades, a través de su edificio consistorial y las edificaciones educacionales, y el Servicio de Salud, a través del Hospital de Cochrane. Destacar, que debido a la ley N° 21.040, las instituciones educacionales municipales pasarán de la administración municipal, a la administración Estatal, bajo los Servicios Locales de Educación Pública.

### *Criterios para la selección de actores*

Cochrane es una comuna donde no existen grandes empresas y su organización más robusta es una asociación gremial, por tanto, se puede entender que existe en el territorio la capacidad de asociatividad para llevar a cabo objetivos comerciales comunes.



Para el caso de este estudio, los resultados arrojan que un proyecto 100% privado es absolutamente inviable, y si bien, un proyecto evaluado público-económicamente, con los criterios del Estado, tampoco entrega números positivos, la cercanía a un valor actual neto superior a cero es mayor. De esta forma, siempre amparado bajo los beneficios sociales y ambientales, se hace necesaria la inclusión del Estado en este tipo de proyectos. Ahora, en cuanto a la percepción ciudadana sobre las entidades Estatales, las municipalidades entregan mayor confianza que cualquier otro tipo de administración Estatal, 17% de confianza, donde la institución con mayor confianza son las radios, con un 24% (Centro de Estudios Públicos, 2019).

Según el “Reporte Regional Encuesta Nacional de Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología”, los habitantes de la Región de Aysén son los menos interesados en la tecnología a nivel nacional, definiendo “tecnología” de manera abierta y espontánea por los encuestados de dicho reporte sin limitaciones conceptuales, donde solo un 47% manifiesta interés, comparado con un 58% a nivel nacional (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, 2017), además de ser los menos informados, solo un 21% acusa estar informado sobre tecnología, comparado con un 34% a nivel nacional (Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, 2017). Esto nos indica que el esfuerzo para incluir a la población como un actor relevante en la instalación de un sistema distrital, entendiéndolo como un sistema tecnológico nuevo, será mayor, por lo que la inclusión de la mayor cantidad de actores será relevante.

Para este tipo de proyectos, de alta inversión, la diversificación del riesgo es clave para la inversión, por tanto, entre mayor sea la cantidad de actores involucrados, más confianza se genera en el proyecto, pues se deduce que entre mayor sea la cantidad de actores dispuestos a asumir un riesgo, el riesgo es menor.

Los mayores consumidores de energía en la comuna son entes públicos, o sea que, en términos de eficiencia energética, lo que conlleva a una disminución del gasto en energía, serán las entidades públicas las más beneficiadas con el proyecto.

Por último, en Chile, al solo existir 4 proyectos de calefacción distrital en funcionamiento, se ve como una oportunidad, tanto para los privados, como para el Estado, el involucrarse en este tipo de actividades, pues, se espera que este tipo de proyectos se comiencen a implementar, sobre todo por los altos niveles de contaminación en las ciudades del sur de Chile. Ejemplo de ello, es la incorporación de la energía distrital en el PDA de Coyhaique, como un mecanismo de compensación de emisiones.

### Propuestas Modelos de Negocios

Con los antecedentes expuestos, en el marco institucional actual, se propone un sistema de Cooperativa, donde, el municipio, a través de la creación de una corporación de derecho privado, empresas locales y una empresa energética especialista, puedan realizar una alianza público privada, que entregue las garantías a los usuarios de un involucramiento de la sociedad civil, a través de empresas locales, empresas privadas especialistas y actores público.



Este sistema, permitiría un financiamiento estatal, con la base de una evaluación público-económica, que permitiera que el proyecto sea sostenible, e inyección de recursos privados, o sea que se diversificaría la inversión, reduciendo los riesgos. Además, en un sistema cooperativo, la recaudación de ingresos también está dada por el propio consumo energético, por lo que sería beneficioso para las entidades públicas de alto consumo energético.

Por otro lado, en un marco de una nueva institucionalidad, se propone un sistema 100% público, donde el Estado, a través de una agencia especializada, pueda ser capaz de dar sustento técnico a este tipo de iniciativas. Por otro lado, la municipalidad pudiese ser la encargada de la gestión de la comercialización, como de la gestión de operación y mantención, la que no necesariamente deba realizar con sus propios funcionarios, sino que podría subcontratar a una empresa privada especialista en mantención de la red de distribución, como de la planta de biomasa y solar.

Para ambos casos, la etapa de abastecimiento de biomasa debiese estar a cargo de asociaciones o cooperativas de los propios ciudadanos de Cochrane. Dicha actividad, está absolutamente regulada, en términos normativos y ambientales.

## Conclusiones

En base a los resultados de este estudio se puede destacar:

- Debido al bajo estándar térmico de las viviendas y edificios de la comuna, promediando los 399 kWh/m<sup>2</sup> en viviendas y 294 kWh/m<sup>2</sup> en los edificios analizados, existe una tremenda oportunidad reducir la demanda térmica, mediante la implementación de medidas de reacondicionamiento térmico de viviendas y edificios. Si se implementa el estándar de acondicionamiento térmico establecido en el PDA de Coyhaique, se podría reducir la demanda térmica de Cochrane y las emisiones de MP 2,5 en hasta un 60%.
- Respecto a los costos de esta medida, según referencia del SERVIU, el costo de acondicionamiento térmico por unidad de superficie es alrededor de 230.000 \$/m<sup>2</sup>. Es importante indicar que si bien esta medida no es costo-efectiva desde un punto de vista privado, si lo es de un punto de vista público, por lo que subsidios por parte del sector público deben ir en esta línea.
- Bajo el punto de vista de inversión privada, el costo actual de generación energía térmica es 31.494 \$/MWh, es decir los usuarios pagan actualmente esta tarifa de energía térmica. Si se considera un 63% de expansión de la red de calefacción distrital, el costo sería 60.895\$/MWh, a un 96%, el costo sería 79.867\$/MWh. Esto indica que no es factible implementar un proyecto de calefacción distrital en la ciudad de Cochrane sin subsidio público, esto es debido a las siguientes razones:
  - Un bajo precio de la leña, promediando los 22.707 \$/m<sup>3</sup>st en el mercado informal, en contraste con el precio de 41.000 \$/m<sup>3</sup>st en el mercado formal. Por lo que **una posible medida a tomar para aumentar los ahorros operativos netos del proyecto, es regular el mercado informal de leña, al menos a nivel regional.**
  - Una alta tasa de descuento utilizada para calcular los costos de capital (12%), junto con el periodo de evaluación elegido (20 años sugeridos por la SEREMI de Aysén), tienen una influencia directa en los costos de capital. De este modo, contribuye en gran medida a la falta de viabilidad económica para los escenarios de calefacción distrital. **Si la tasa de descuento se redujera, por ejemplo, a las tasas ofrecidas por el Banco Mundial, que actualmente son de alrededor del 2%<sup>20</sup>, eso implicaría una reducción de los costos de capital y ayudaría a la viabilidad económica del proyecto.**
- Desde de un punto de vista público y privado, si bien el proyecto de calefacción distrital tiene un potencial de reducir casi la totalidad de las emisiones de MP2,5, a una alta tasa de expansión de la red, **este no es factible desde, esto es debido al bajo precio del material particulado fino establecido en la actualidad, 4,49USD/kg MP2,5. Sin embargo, la**

<sup>20</sup> <https://data.worldbank.org/indicador/FR.INR.RINR?locations=CL>

**tendencia general es que los precios de las emisiones aumenten en el futuro cercano.** Por ejemplo, ejemplo países como Dinamarca muestran precios de aprox. 25,4 USD / kgMP<sub>2,5</sub><sup>21</sup>, que es más de cinco veces mayor que los precios utilizados para el caso en Cochrane. Por lo tanto, es posible suponer que el establecimiento de calefacción distrital en Cochrane podría presentar ahorros públicos en la medida que los precios de MP<sub>2,5</sub> aumenten.

- **El precio de emisión necesario para alcanzar un punto de equilibrio público-económico (ahorro neto de 0 \$/año) comparado con la línea base es de 5,27 USD/kgMP<sub>2,5</sub> y 5,41 USD/kgMP<sub>2,5</sub> para el Escenario 3 y respectivamente Escenario 4. Por lo tanto, el establecimiento de calefacción distrital podría tener un gran potencial para generar ahorros públicos en el futuro.**
- Si bien en este análisis se evalúa el acondicionamiento térmico de edificios y viviendas, además del establecimiento de calefacción distrital en diferentes escenarios, **es recomendado primero mejorar térmicamente las viviendas, luego implementar el proyecto de calefacción distrital.** Como se ve en la evaluación pública, ambas medidas tendrían un impacto positivo en la reducción de emisiones de MP<sub>2,5</sub>, por lo tanto, mejorarían la calidad de vida de los habitantes de Cochrane, al tiempo que mejorarían su confort térmico. **Alternativamente, se puede llevar a cabo los dos procesos simultáneamente, en principio esto reduciría los costos generales de inversión por vivienda, lo que mejoraría la viabilidad económica del proyecto.** La tasa de conexión a la red y el porcentaje de viviendas/edificios acondicionadas térmicamente, debe investigarse en otro estudio.
- Se realiza una descripción de los modelos de negocios existentes, junto con una revisión bibliográfica sobre los distintos modelos que funcionan en el mundo, luego se analizan los regímenes legales y sus respectivos cuerpos normativos. De esta forma se plantean 2 modelos de negocios, uno centrado en la institucionalidad actual, y otro, amparado en la Ley 21.200, que abre la posibilidad a una nueva institucionalidad, en un marco de desarrollo país distinto. **Desde aquí, analizando los actores de la cadena productiva, y estableciendo criterios para una aprobación ciudadana y participativa de un proyecto de calefacción distrital, se propone un modelo de cooperativa, con la inclusión del municipio, a través de una corporación de derecho privado, empresas locales y una empresa energética especialista.** La segunda propuesta, en un marco institucional sin restricciones, en base al criterio de que aún no existe en Chile las capacidades instaladas especialistas en calefacción distrital, se propone tomar esto como una oportunidad, y **se propone una empresa 100% pública, que tenga la capacidad de coordinación con empresas locales, para asegurar el abastecimiento de combustible, y empresas especialistas para asegurar una correcta mantención de las calderas y redes de distribución.**
- Si bien, el foco de este estudio no es el análisis de pobreza energética, es relevante señalarlo. Según la Red de Pobreza Energética *“Un hogar se encuentra en situación de*

<sup>21</sup>[https://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/R1702\\_energieffektivitet\\_boligopvarmning.pdf](https://www.dgc.dk/sites/default/files/filer/publikationer/R1702_energieffektivitet_boligopvarmning.pdf)



*pobreza energética cuando no tiene acceso equitativo a servicios energéticos de alta calidad para cubrir sus necesidades fundamentales y básicas, que permitan sostener el desarrollo humano y económico de sus miembros. Las necesidades fundamentales son aquellas que implican impactos directos en la salud humana; mientras que las necesidades básicas corresponden a aquellos requerimientos energéticos cuya pertinencia depende de las particularidades culturales y territoriales” (Red de Pobreza Energética, 2019). Los datos cualitativos entregados por el trabajo realizado en terreno, indican que existe un 42% de la comunidad de Cochrane, que por motivos económicos no es capaz de calefaccionarse de manera constante y segura, pues limita su uso, y además alrededor de un 32% de los encuestados, no logra calefaccionar todo el hogar. De esta forma, es pertinente ahondar en este punto, a través de estudios que puedan medir con mayor profundidad el confort térmico actual de las viviendas de Cochrane.*

Finalmente, cuando se considera el valor público-económico de reducir las emisiones nocivas para la salud humana y medio ambiente, no es posible asignar un valor monetario a todos los factores relevantes. Si bien a algunas de las emisiones nocivas se les asigna un precio determinado, y su reducción tiene un efecto monetario positivo en la fiscal, es difícil cuantificar el valor de mejorar la salud general de los habitantes de Cochrane. Teniendo esto en cuenta, **si el propósito de establecer un proyecto de calefacción distrital en Cochrane, es mejorar la calidad de vida de sus habitantes y aumentar el confort térmico de los recintos, entonces es claramente una buena opción, por lo que se recomienda seguir trabajando en esta línea.**