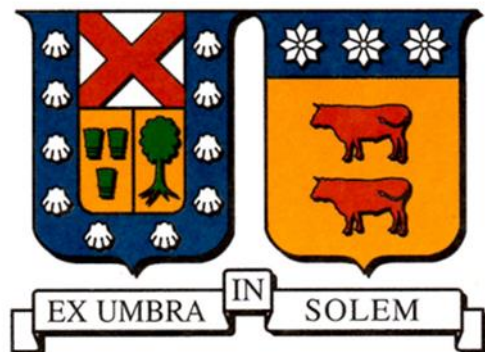




UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE CONCEPCIÓN

“REY BALDUINO DE BELGICA”

**BOMBA DE CALOR COMO NUEVA ALTERNATIVA DE CALEFACCIÓN
EN EL MARCO DEL PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA (PPDA) DEL GRAN CONCEPCIÓN**

Pedro Exequiel Aedo Diaz

2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARIA

SEDE CONCEPCIÓN

“REY BALDUINO DE BELGICA “

**BOMBA DE CALOR COMO NUEVA ALTERNATIVA DE CALEFACCIÓN EN EL
MARCO DEL PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
(PPDA) DEL GRAN CONCEPCIÓN.**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CONSTRUCTOR**

Alumno: Pedro Exequiel Aedo Diaz.

Profesor Guía: Sergio Rodrigo Monroy Morales.

**CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO**

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: “Bomba de calor como nueva alternativa de calefacción en el marco del plan de prevención y des-contaminación atmosférica (PPDA) del gran Concepción.

Nombre del candidato(a): Pedro Exequiel Aedo Díaz

Carrera / Grado: Ingeniero Constructor

Campus: Concepción ; **Departamento:** Construcción Prevención de Riesgos

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Sergio Rodrigo Monroy Morales , en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente

DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años Funda-

mentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 21-08-2025; **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 21-08-2025; **Firma:** 

INDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL	10
-----------------------------	-----------

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
---------------------------------	-----------

Figura 1: 10 Acciones principales del PDA	13
---	----

Figura 2: Extracto de la oferta de calefactores disponibles	13
---	----

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
-----------------------------------	-----------

OBJETIVO GENERAL	17
-------------------------	-----------

OBJETIVOS ESPECIFICOS

¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

METODOLOGIA DE TRABAJO

¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

MARCO TEÓRICO	21
----------------------	-----------

Figura 3: Contaminación Atmosférica	21
-------------------------------------	----

Figura 4: Material Particulado	22
--------------------------------	----

Figura 5: Eficiencia Energética	23
---------------------------------	----

Figura 6: Bomba de Calor	24
--------------------------	----

MARCO NORMATIVO	25
------------------------	-----------

CAPÍTULO 1:ANALIZAR LA EVIDENCIA HISTÓRICA DE CONTAMINACIÓN POR MP_{2.5} EN EL GRAN CONCEPCIÓN COMO ZONA ALTAMENTE AFECTADA POR EMISIONES RESIDENCIALES Y DONDE SE EMPLAZARA LA VIVIENDA TIPO

¡Error! Marcador no definido.

1.1 Introducción	28
------------------	----

1.2 Material Particulado 2,5	29
------------------------------	----

Figura 7: Diferencias de tamaño entre partículas	29
Figura 8: Tamaño relativo de contaminantes MP 10 vs MP 2,5	30
Figura 9: Riesgo relativo por exposición vs grupo poblacional	32
Figura 10: Concentración promedio 2,5 por comuna entre 2021 vs 2	33
Figura 11: Concentración promedio 2,5 entre 2021 vs 2022	34
Figura 12: Concentración promedio 2,5 entre 2021 hasta 2024	35
1.3 Diagnóstico de la contaminación en el Gran Concepción	36
1.3 .1 Caracterización territorial del área	36
Figura 13: Mapa del gran Concepción	36
Figura 14: Comunas diferenciadas por la proximidad a sectores costeros	37
1.3 .2 Datos históricos de superaciones de norma	37
Figura 15: Días con superación de norma MP 2,5 por comuna	38
1.3 .3 Estaciones de monitoreo y activación de episodios críticos	39
Figura 16: Registro diario Mp 2,5 Estacion KC Comuna de Concepcion	40
Figura 17: Registro diario Mp 2,5 Estacion Cerro Merquin Comuna de Coronel	41
Figura 18: Registro diario Mp 2,5 Estacion Escuadron ENEL Comuna de Coronel	42
Figura 19: Registro diario Mp 2,5 Estacion Escuadron ENESA Comuna de Coronel	43
Figura 20: Registro diario Mp 2,5 Estacion Lagunillas ENEL Comuna de Coronel	45
Figura 21: Registro diario Mp 2,5 Estacion Lota Rural Comuna de Coronel	45
Figura 22: Registro diario Mp 2,5 Estacion Lota Urbana Comuna de Coronel	46
Figura 23: Registro diario Mp 2,5 Estación Balneario Curanilahue Comuna de Curanilahue	47
Figura 24: Registro diario Mp 2,5 Estación Bocatoma Comuna de Hualpén	48
Figura 25: Registro diario Mp 2,5 Estación Enap Price Comuna de Hualpén	49

Figura 26: Registro diario Mp 2,5 Estación Junji Comuna de Hualpén	50
Figura 27: Registro diario Mp 2,5 Estación Hualqui Comuna de Hualqui	51
1.3.4 Identificación del patrón estacional (otoño-invierno)	52
1.4 Marco normativo vigente y rol del sistema de fiscalización	53
1.5 Uso de la leña como principal fuente contaminante	56
Figura 28: Emisiones Relativas de leña húmeda vs leña seca	56
1.6 Limitaciones actuales de las tecnologías de calefacción	58
Figura 29: Grafico del uso de calefacción en los hogares de los chilenos	60
1.7 Necesidad de nuevas soluciones	63
1.8 Análisis causa-efecto de la problemática	65
1.9 Presentación del Diagrama de Ishikawa: Alta contaminación por MP2.5	67
Figura 30: Diagrama de Ishikawa	67
CAPÍTULO 2: EVALUAR EL DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE LA VIVIENDA TIPO SELECCIONADA MEDIANTE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDAS (CEV), DETERMINANDO SU DEMANDA TÉRMICA	68
2.1 Introducción	69
2.2 Descripción de la vivienda tipo	70
Figura 31: Figura 31: Georefencia general vivienda tipo	70
Figura 32: Planimetría de superficies aprobadas	71
Figura 33: Especificaciones Técnicas	79
Figura 34: Plano de loteo proyecto Valle de Elicura	80
Figura 35: Plano de emplazamiento proyecto Valle de Elicura	81
Figura 36: Plano de planta de cubierta	82
Figura 37: Plano de planta de arquitectura piso 1	83

Figura 38: Plano de planta de arquitectura piso 2	84
Figura 39: Plano de elevación frontal	85
Figura 40: Plano de elevación posterior	85
Figura 41: Plano de elevación lateral derecho	87
Figura 42: Plano de elevación lateral izquierdo	88
2.3 Metodología de evaluación para vivienda caso estudio	89
Figura 43: Hoja CEV CEVE 03.PBTD_datos de equipos y resultados	93
Figura 44: Hoja Resumen 03.PBTD_datos de equipos y resultados	95
Figura 45: Hoja CEV-CEVE 03.PBTD_datos de equipos y resultados	99
Figura 46: Análisis de sombras incidentes en vivienda estudio	100
2.4 Resultados de la evaluación energética	101
Figura 47: Grafico 1- 03.PBTD_datos de equipos y resultados	101
2.5 Conexión con la selección tecnológica	102
CAPITULO 3: EXPONER LAS ALTERNATIVAS DE CALEFACCIÓN BOMBA DE CALOR AEROTÉRMICA, AIRE ACONDICIONADO INVERTER Y ESTUFA A PELLET PARA LA VIVIENDA TIPO	103
3.1 Introducción	104
3.2 Criterios de selección de tecnologías	105
3.3 Descripción técnica de cada alternativa	106
Figura 48: Diagrama Aire Acondicionado	106
Figura 49: Diagrama Estufa Pellet	110
Figura 50: Diagrama Bomba de Calor	112
3.4 Ficha Técnica comparativa	115
Figura 51: Ficha Técnica Anwo	115

Figura 52: Ficha Técnica Amesti	116
Figura 53: Ficha Técnica Andes Heating	117
Figura 54: Tabla resumen con parámetros claves	118
3.5 Calculo de entrada de los equipos	118
Figura 55: Ficha Técnica Anwo	119
Figura 56: Detalle de cuenta de luz	120
Figura 57: Ficha Técnica Amesti	121
Figura 58: Banda de precios internet	122
Figura 59: Ficha Técnica Andes Heating	123
Figura 60: Detalle de cuenta de luz	122
3.6 Síntesis del capítulo	124
CAPITULO 4: ANALIZAR LA VIABILIDAD ECONÓMICA DE CADA TECNOLOGÍA, CONSIDERANDO COSTOS DE INVERSIÓN, OPERACIÓN.	126
4.1 Introducción	127
4.2 Criterios de evaluación económica	127
Figura 60: Tabla de costos de inversión inicial	128
Figura 61: Ubicación de Bomba de Calor con 5 Radiadores	129
Figura 62: Ubicación de equipo de Aire Acondicionado	130
Figura 63: Ubicación de Estufa a Pellet	131
Figura 64: Tabla de costo operacional mensual	132
Figura 65: Tabla de costos de inversión inicial	133
Figura 66: Ubicación de Bomba de Calor con 5 Radiadores	134
Figura 67: Ubicación de equipos de Aire Acondicionado	135

Figura 68: Ubicación de Estufas a Pellet	136
Figura 69: Tabla de costo operacional mensual	137
4.3 Análisis comparativo PRI	138
Tabla 1: Análisis de periodo de retorno de inversión a nivel global de la vivienda	138
Tabla 2: Análisis de periodo de retorno de inversión con distribución de recintos	138
Síntesis y conclusiones	139
Tabla 1: Tabla comparativa de ventajas y desventajas después del análisis	139
Bibliografía	140
Linkografía	140

INTRODUCCIÓN GENERAL

La contaminación atmosférica constituye uno de los principales desafíos medioambientales en Chile, especialmente en las zonas urbanas del sur del país, donde el uso intensivo de leña para calefacción residencial genera elevadas concentraciones de material particulado fino (MP 2,5). Esta problemática afecta directamente la salud de la población, incrementando la prevalencia de enfermedades cardiorrespiratorias, generando altos costos en salud pública y deteriorando la calidad de vida de los habitantes. De hecho, según el Primer Reporte del Estado del Medio Ambiente, la contaminación del aire provoca miles de muertes prematuras cada año por enfermedades cardiopulmonares en Chile, lo que evidencia la gravedad del problema y su enorme costo social y económico.

Frente a este escenario, el Estado de Chile ha impulsado la implementación de **Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA)**, entre ellos el correspondiente a la zona del Gran Concepción, formalizado mediante el **Decreto Supremo N.º 6 del Ministerio del Medio Ambiente**. Uno de los ejes centrales de este plan es el programa de **recambio de calefactores**, el cual busca reemplazar los sistemas más contaminantes —principalmente calefactores a leña— por tecnologías consideradas más limpias y eficientes.

En la actualidad, el programa de recambio del PPDA reconoce únicamente dos alternativas tecnológicas elegibles: el **calefactor a pellet** (en versiones de media y alta potencia) y el **aire acondicionado tipo inverter**. Sin embargo, este catálogo excluye otras tecnologías de calefacción altamente eficientes y de probada efectividad en climas similares, como la **bomba de calor**, ampliamente utilizada en países europeos y en Estados Unidos como solución residencial sustentable.

La bomba de calor es una tecnología eléctrica capaz de calefaccionar espacios interiores con un consumo energético significativamente menor que otros sistemas convencionales. Basada en el principio de termodinámica reversible, permite extraer calor del aire exterior incluso a bajas temperaturas, alcanzando coeficientes de desempeño (COP) superiores a 3,5. Esto implica que por cada kWh de electricidad consumida, entrega más de 3,5 kWh de calor útil, lo que se traduce en alta eficiencia energética y cero emisiones locales.

Pese a estas ventajas, la bomba de calor no se encuentra incluida en el listado oficial de tecnologías del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA), lo que limita su adopción y contradice parcialmente los objetivos del programa orientados a la reducción de emisiones y mejora de la eficiencia energética.

Aunque el PPDA está orientado principalmente a los hogares que acceden a programas estatales de recambio de calefactores, los resultados técnicos y económicos de esta evaluación también pueden servir como guía para el sector privado. La información obtenida entrega parámetros concretos sobre desempeño, costos y beneficios, facilitando decisiones de inversión en sistemas de climatización más limpios y eficientes.

En este contexto, la presente tesis propone evaluar, bajo un marco técnico y económico, la viabilidad de incorporar la bomba de calor no sólo como una alternativa potencialmente integrable al PPDA, sino también como una opción sólida para propietarios privados que busquen modernizar sus sistemas de calefacción. Los resultados permitirán fundamentar recomendaciones tanto para futuras actualizaciones de políticas públicas como para estrategias de inversión del sector privado, contribuyendo a un cambio estructural hacia la calefacción sostenible en el Gran Concepción.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) del Gran Concepción busca reducir la contaminación producida principalmente por la calefacción residencial a leña, que es la principal fuente de emisiones de material particulado fino ($MP_{2,5}$) en la zona. Este contaminante está asociado a miles de muertes prematuras cada año en Chile y a graves impactos en la salud pública, especialmente en la población infantil, adultos mayores y personas con enfermedades crónicas.

Aunque el PPDA está enfocado en el segmento social mediante subsidios y programas de recambio, existe un amplio segmento privado —propietarios de viviendas, inversionistas y desarrolladores— que no participa de estos beneficios y debe tomar decisiones de climatización de manera independiente. La falta de información técnica y económica comparativa sobre tecnologías limpias en este sector limita la adopción de soluciones más eficientes y menos contaminantes.

En este contexto, surge la necesidad de evaluar la viabilidad técnica y económica de la bomba de calor aerotérmica como alternativa de calefacción domiciliaria, considerando una vivienda tipo del segmento privado ubicada en el área de influencia del Gran Concepción. El estudio comparará esta tecnología con sistemas actualmente contemplados en el PPDA, con el fin de determinar cuál ofrece el mejor equilibrio entre eficiencia energética, costos y reducción de emisiones.

Principales medidas del PDA:

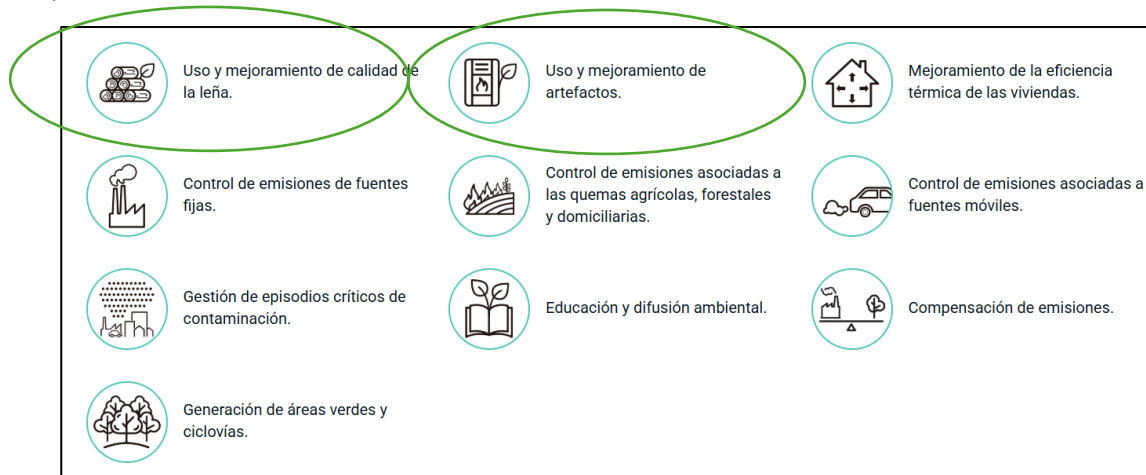


Figura 1: 10 Acciones principales del PDA

Fuente: <https://ppda.mma.gob.cl/biobio/plan-para-las-comunas-de-concepcion>

Programa de recambio de calefactores:

7.3 ELECCIÓN DEL CALEFACTOR	
Al momento de postular, se deberá señalar el sistema de calefacción al cual quiere optar. Los sistemas de calefacción ofrecidos para este llamado de postulación son los siguientes:	
Opción 1: Sistema de calefacción compuesto por un calefactor a pellet media potencia	
Características	Copago
Potencia: Entre 6,1 a 7,9 kW Eficiencia: Mayor a 85% El calefactor cuenta con: ✓ Sistema de evacuación de gases al exterior. ✓ Termostato ✓ Modo de encendido y apagado automático	Aporte de persona beneficiada: \$0. -
Opción 2: Sistema de calefacción eléctrico Aire Acondicionado Inverter	
Características	Copago
Potencia: 18.000 BTU/h Eficiencia: COP ≥ 3.5 El calefactor cuenta con: ✓ Termostato. ✓ Modo de encendido y apagado automático.	Aporte de persona beneficiada: \$0

Figura 2: Extracto de la oferta de calefactores disponibles

Fuente: https://calefactores.mma.gob.cl/storage/calls_documents/18920231102165652.pdf

Las bombas de calor se perfilan como sistemas muy eficientes, capaces de entregar varias veces más calor del que consumen en electricidad. En condiciones reales de operación en Chile, su rendimiento estacional sitúa a estas tecnologías por encima de las opciones tradicionales a leña o de los calefactores eléctricos convencionales. Aun así, su adopción masiva genera dudas. La instalación de un equipo típico para una vivienda implica una inversión considerable, que puede ser percibida como elevada en comparación con otros sistemas de calefacción. Además, su desempeño está condicionado tanto por el uso que se le dé como por el clima de la zona donde se instalan. Aunque el costo por unidad de calor generado con pellets suele ser mayor que el de la electricidad, lo que hace atractiva a la bomba de calor en términos de gastos operativos, es necesario evaluar si los hogares están en condiciones de asumir la inversión inicial más alta para beneficiarse de estos ahorros a largo plazo.

Además de la eficiencia y los costos, existen otros factores que justifican un estudio en profundidad. En primer lugar, es fundamental comprender la demanda de calefacción de los hogares del Gran Concepción y cómo ésta fluctúa según el clima y las características de construcción de las viviendas. Un análisis detallado permitirá establecer si las bombas de calor pueden satisfacer las necesidades térmicas en un invierno riguroso o si requieren ser complementadas con otros sistemas.

Por otro lado, es importante comparar estas bombas con las alternativas existentes —como las estufas a pellet, o eléctricas— no sólo en términos de desempeño energético, sino también considerando la facilidad de uso, la vida útil, el mantenimiento y el impacto ambiental. Asimismo, un estudio económico debe contemplar no sólo la inversión inicial y los costos mensuales de energía, sino también la existencia de posibles incentivos o subsidios que puedan aliviar la carga financiera de las familias al realizar el recambio.

Por último, no puede dejarse de lado el aspecto social: la aceptación de una tecnología nueva depende de la confianza de las personas, de su experiencia con el producto y de la percepción de que realmente contribuye a mejorar la calidad del aire y el bienestar en el hogar. La viabilidad de implementar bombas de calor en el marco del PPDA, por tanto, no sólo responde a un análisis técnico y económico, sino también a un enfoque integral que considere las condiciones climáticas, el comportamiento de los usuarios y las políticas de apoyo disponibles.

Problema de investigación:

En el contexto del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) del Gran Concepción, ¿cuál es la viabilidad técnica, económica y práctica de incorporar sistemas de bomba de calor aerotérmica como alternativa de calefacción domiciliaria, considerando tanto el recambio de calefactores en el segmento social como la adopción voluntaria en el sector privado, tomando como base una vivienda tipo para el cálculo de su demanda térmica y la comparación con otras tecnologías de calefacción actualmente contempladas en el PPDA?

La investigación busca responder preguntas como:

¿Cuál es el desempeño técnico real de la bomba de calor frente a las tecnologías actualmente incluidas en el PPDA, evaluadas bajo las mismas condiciones constructivas y climáticas?

¿Qué costos de inversión, operación y mantenimiento se presentan en cada tecnología para una vivienda tipo?

¿Qué impacto tienen estas tecnologías en la reducción de emisiones de MP2.5 en el contexto del Gran Concepción?

¿Es competitiva la bomba de calor como opción tanto para beneficiarios de programas estatales como para usuarios privados que invierten de forma autónoma?

¿Qué barreras técnicas, económicas o normativas podrían limitar su masificación?

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad de avanzar hacia sistemas de calefacción más eficientes y menos contaminantes es particularmente urgente en el Gran Concepción, donde el uso de leña como combustible residencial sigue siendo la principal fuente de emisiones de material particulado fino (MP_{2,5}). Este contaminante está estrechamente vinculado a problemas de salud respiratoria y cardiovascular, además de contribuir al deterioro ambiental y a la pérdida de calidad de vida.

Si bien el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) concentra sus esfuerzos en programas estatales de recambio para el segmento social, existe un amplio sector privado — familias, inversionistas y desarrolladores inmobiliarios— que toma decisiones de forma autónoma respecto a la climatización de sus viviendas. En este segmento, la información técnica y económica disponible sobre alternativas limpias es limitada, lo que dificulta la elección de soluciones energéticamente eficientes y de bajo impacto ambiental.

La bomba de calor aerotérmica se presenta como una alternativa de alto rendimiento, con un coeficiente de desempeño (COP) superior a 3.5, capaz de generar importantes ahorros en consumo energético y eliminar las emisiones locales. Sin embargo, su nivel de adopción en el mercado privado sigue siendo bajo, en parte por desconocimiento, percepciones erróneas sobre su funcionamiento en climas fríos y falta de análisis comparativos que respalden su conveniencia.

Esta investigación evaluará, para una vivienda tipo representativa del mercado privado, la viabilidad técnica y económica de la bomba de calor frente a otras tecnologías contempladas actualmente en el PPDA. Se considerarán aspectos como la demanda térmica anual, los costos de inversión y operación, el rendimiento estacional y las emisiones evitadas. Los resultados no sólo servirán como guía para propietarios e inversionistas privados que buscan modernizar sus sistemas de calefacción, sino que también podrán ser un insumo de referencia para la actualización de políticas públicas, favoreciendo la convergencia entre ambos segmentos.

En conjunto, este estudio contribuirá a acelerar la modernización del parque térmico residencial, fomentando la adopción de tecnologías limpias en el ámbito privado y apoyando los objetivos de carbono neutralidad y mejora de la calidad del aire en la región.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar técnica, económica y operativamente la bomba de calor aerotérmica como alternativa de calefacción para una vivienda tipo del sector privado en el Gran Concepción, comparándola con tecnologías del PPDA, para aportar criterios claros que orienten la inversión en climatización eficiente y de bajo impacto ambiental.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analizar la evidencia histórica de contaminación por MP_{2.5} en el Gran Concepción como zona altamente afectada por emisiones residenciales y donde se emplazara la vivienda tipo.

Evaluar el desempeño energético de la vivienda tipo seleccionada mediante la Calificación Energética de Viviendas (CEV), determinando su demanda térmica.

Exponer las alternativas de calefacción bomba de calor aerotérmica, aire acondicionado inverter y estufa a pellet para la vivienda tipo

Analizar la viabilidad económica de cada tecnología, considerando costos de inversión, operación.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

La presente investigación se desarrollará mediante un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y comparativo, orientado a evaluar el desempeño técnico, económico y ambiental de la bomba de calor frente a otras tecnologías de calefacción reconocidas por el PPDA del Gran Concepción. Para ello, se seguirá una secuencia de etapas que permitirán abordar cada uno de los objetivos específicos planteados:

1. Revisión documental y normativa

Se recopilará y analizará información proveniente de:

- Planes oficiales (PPDA del Gran Concepción, Decretos N.º 6, N.º 41 y N.º 15).
- Informes técnicos del Ministerio del Medio Ambiente y del Ministerio de Energía. El objetivo es caracterizar el contexto normativo, ambiental y energético de la calefacción residencial en la zona de estudio.

2. Evaluar el desempeño energético de la vivienda tipo

- Selección del caso de estudio: definir la vivienda tipo considerando superficie construida, materialidad, aislación térmica y uso estándar.
- Obtención de información base: recopilar planos, memorias constructivas y datos de materialidad para ingresar a la herramienta de Calificación Energética de Viviendas (CEV).
- Procesamiento y cálculo: ingresar los datos en la plataforma CEV para determinar:
 1. Demanda térmica mensual y anual.
 2. Clasificación energética oficial.
 3. Registro de resultados: tabular la información para su uso en las etapas siguientes.

3. Exponer las alternativas de calefacción para la vivienda tipo

- Selección de tecnologías: bomba de calor aerotérmica, aire acondicionado inverter y estufa a pellet.
- Levantamiento de información técnica:
 1. Potencia nominal y rango de operación.
 2. Rendimiento (COP/SCOP).
 3. Vida útil estimada.
 4. Mantenimiento requerido.
- Formato de presentación: elaborar fichas técnicas normalizadas con:
 1. Descripción general de la tecnología.
 2. Parámetros de eficiencia.
 3. Condiciones de operación.
- Adecuación al caso de estudio: dimensionar cada equipo para cubrir la demanda térmica obtenida en la etapa 1.

3. Analizar la viabilidad económica de cada tecnología

- Identificación de costos:
 1. Inversión inicial (adquisición + instalación).
 2. Costos de operación (consumo energético y combustible).
 3. Costos de mantenimiento (preventivo y correctivo).
- Cálculo de indicadores económicos:
 1. Costo nivelado de calefacción (\$/kWh útil).
 2. Periodo de retorno de la inversión (PRI).
 3. Proyección de gastos a 10 y 15 años.
- Escenarios de análisis:
 1. Tarifas eléctricas y de pellet realistas para el Gran Concepción.
 2. Variación de uso según condiciones climáticas y hábitos de consumo.
- Conclusiones comparativas: resumen de ventajas y desventajas económicas y operativas para la vivienda tipo

MARCO TEÓRICO

1. Contaminación Atmosférica

La presencia en el aire ambiente de una o más sustancias contaminantes, o de una combinación de ellas, en concentraciones y durante períodos de tiempo tales que puedan constituir un riesgo para la salud de la población, causar efectos nocivos en el medio ambiente o en los bienes de las personas, o producir molestias graves

Ministerio del Medio Ambiente (2018). *Decreto Supremo N°6: Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para el Concepción Metropolitano*



Figura 3: Contaminación atmosférica

Fuente: Servicio de evaluación ambiental DT_Zonas-Saturadas_MP_2023

2. Material Particulado (MP10 y MP2.5)

MP2.5: Es la fracción del material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrones (μm), también conocido como PM2,5, que es capaz de penetrar profundamente en el sistema respiratorio humano y causar efectos adversos en la salud.

Ministerio del Medio Ambiente (2018). *Decreto Supremo N°6: Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para el Concepción Metropolitano*

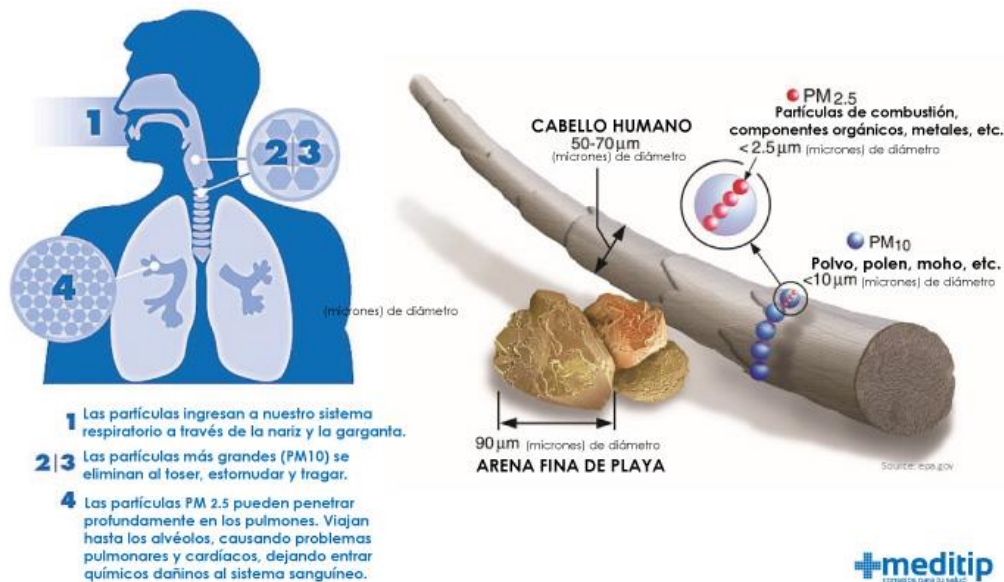


Figura 4: Material particulado 2,5

Fuente: <https://www.meditip.lat/salud-de-la-a-z/enfermedades>

respiratorias/riesgo-para-la-salud-de-las-particulas-en-suspension/#prettyPhoto

3. Eficiencia Energética

La eficiencia energética es “la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos o servicios obtenidos”. En otras palabras, se trata de utilizar la menor cantidad posible de energía para realizar una determinada tarea o servicio, manteniendo o incluso mejorando el nivel de calidad, confort o productividad.

(IDAE, Guía práctica de la energía para el ciudadano, 2007)



Figura 5: Imagen de eficiencia energética

Fuente: Elaboración propia

4. Bomba de Calor

Una bomba de calor es un equipo que transfiere calor de un lugar a otro y su nombre proviene del bombeo que estos equipos realizan. Su uso contempla una serie de beneficios asociados a una alta eficiencia energética y bajos costos de operación.

(Guía para el Usuario de Bombas de Calor, GIZ del Ministerio de Energía)



Figura 6: Bomba de calor aire-agua

Fuente: Elaboración propia

MARCO NORMATIVO

- **Decreto Supremo N.º 6 (2018)**
Ministerio del Medio Ambiente
Establece el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para el Concepción Metropolitano.
- **Decreto Supremo N.º 41 (2013)**
Ministerio del Medio Ambiente
Establece la norma primaria de calidad del aire para material particulado fino respirable MP2.5.
- **Decreto Supremo N.º 15 (2009)**
Ministerio del Medio Ambiente
Regula el procedimiento para declarar zonas latentes y zonas saturadas de contaminantes atmosféricos.
- **Reglamento de Recambio de Calefactores**
Programas gestionados por el Ministerio del Medio Ambiente y el Ministerio de Energía
Define criterios técnicos, tecnologías admisibles, emisiones máximas y condiciones de postulación.
- **Reglamento de Instalación y Certificación de Equipos Térmicos**
Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)
Regula la comercialización e instalación segura de equipos de calefacción, incluidos aire acondicionado y bombas de calor.
- **Guía Técnica de Evaluación de Tecnologías de Calefacción Residencial**
Ministerio de Energía
Define los criterios de eficiencia energética, emisiones y costos para tecnologías evaluadas en programas públicos.
- **Ley N.º 20.920 (2016)**
Ley REP (Responsabilidad Extendida del Productor)
Establece un marco general para la gestión de residuos y promueve la eficiencia energética mediante la renovación tecnológica.
- **Ley N.º 21.305 (2021)**
Ley de Eficiencia Energética
Establece obligaciones de gestión energética en sectores públicos y privados y promueve el uso de tecnologías limpias y eficientes.
- **Estrategia Nacional de Electromovilidad y Electrificación del Calor**
Ministerio de Energía (documento programático)
Promueve el reemplazo de sistemas contaminantes por tecnologías eléctricas como bombas de calor en sectores residenciales y comerciales.
- **Estrategia de Transición Energética Residencial (ETER)**
Ministerio de Energía
Propone lineamientos para la electrificación del calor y el mejoramiento térmico de viviendas en zonas saturadas o vulnerables energéticamente.

- **Protocolo de Ensayos PE N°1/XX (2023)** – Certificación de seguridad para bombas de calor eléctricas monofásicas de hasta 7 kW, conforme normas IEC 60335-1 y 60335-2-40 [sec.cl](#)
- **Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE)** – Define criterios técnicos sobre bombas de calor, conductos y aislación térmica [Biblioteca CCHC](#)
- **Política de Uso de la Leña (2016)** – Orienta sobre diversificación de la matriz térmica, eficiencia en el uso de biomasa y desarrollo de tecnologías limpias como pellet y bombas de calor [minenergia.cl+1bibliotecadigital.ufro.cl+1](#)
- **Estrategia Nacional de Calor y Frío (2021)** – Lineamientos para el desarrollo del sector térmico en Chile, incluyendo la electrificación del calor [energypartnership.cl+2Ministerio de Energía+2Repositorio UCH Chile+2](#)
- **Estrategia de Transición Energética Residencial (ETER, 2020)** – Fomenta la electrificación del calor, calefacción eficiente y mejoramiento térmico en viviendas [caloryfrio.com+4Ministerio de Energía+4Biblioteca del Congreso Chile+4](#)
- **Resolución Exenta N.º 277 (2021)** – Establece requisitos técnicos para calefactores incluidos en programas de recambio del MINVU, en el marco de eficiencia energética y descontaminación atmosférica [Biblioteca del Congreso Chile](#)
- **Normas NCh / IEC para Eficiencia Energética** – Estándares nacionales para medir eficiencia energética de artefactos domésticos, aplicables a sistemas térmicos eléctricos [cne.cl+1Biblioteca del Congreso Chile+1](#)
- **Directiva Acústica y de Emisiones (Directiva 814/2013)** – Establece límites de ruido y emisiones de NO₂ para sistemas de calefacción, incluidas bombas de calor

CAPITULO UNO: Analizar la evidencia histórica de contaminación por MP_{2.5} en el Gran Concepción como zona altamente afectada por emisiones residenciales y donde se emplazara la vivienda tipo.

1.1 INTRODUCCION

La calidad del aire es una de las principales preocupaciones medioambientales en Chile, especialmente en las zonas urbanas del centro-sur del país, donde factores climáticos, constructivos y culturales se combinan para generar episodios recurrentes de contaminación atmosférica. En este contexto, el material particulado fino (MP2.5) se ha identificado como el contaminante más crítico, dada su capacidad de penetrar en el sistema respiratorio humano y sus impactos negativos sobre la salud pública.

El Gran Concepción, una de las principales áreas metropolitanas del sur de Chile, enfrenta desde hace años altos niveles de concentración de MP2.5, especialmente durante los meses de otoño e invierno. Diversos estudios y reportes técnicos coinciden en que el uso extendido de calefacción residencial a leña, muchas veces húmeda y no certificada, representa la principal fuente de emisión de este contaminante. Esta situación ha llevado a que el Ministerio del Medio Ambiente declare a esta zona como “saturada” y establezca planes especiales de prevención y descontaminación.

En este contexto, comprender el entramado normativo, ambiental y energético que define el problema resulta fundamental para identificar oportunidades de mejora y evaluar la pertinencia de tecnologías más limpias y eficientes. Por ello, este capítulo tiene como objetivo describir de manera integrada el contexto del Gran Concepción, abordando el marco regulatorio vigente, los antecedentes ambientales relacionados con la contaminación por MP2.5 y el panorama energético en torno al uso de sistemas de calefacción en el sector residencial.

Este análisis permitirá construir una base técnica sólida que sustente, en los capítulos siguientes, la evaluación de nuevas alternativas de climatización —como la bomba de calor— que podrían contribuir significativamente a la reducción de emisiones contaminantes y al cumplimiento de los objetivos del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA).

1.2 Material Particulado 2,5

El material particulado (MP) es una mezcla de pequeñas partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran suspendidas en el aire. Estas partículas se clasifican según su tamaño aerodinámico, ya que de este depende su capacidad para ingresar al sistema respiratorio humano. En particular, el material particulado fino, conocido como MP2.5, corresponde a partículas con un diámetro igual o inferior a 2,5 micrómetros. Debido a su tamaño extremadamente pequeño —unas 30 veces más delgadas que un cabello humano—, estas partículas pueden penetrar profundamente en los pulmones e incluso ingresar al torrente sanguíneo.

La siguiente imagen muestra la diferencia de tamaño entre las partículas PM_{2.5} y PM₁₀, y las compara con elementos cotidianos como bacterias y polen. Permite comprender visualmente por qué el MP_{2.5} puede penetrar profundamente en el sistema respiratorio.

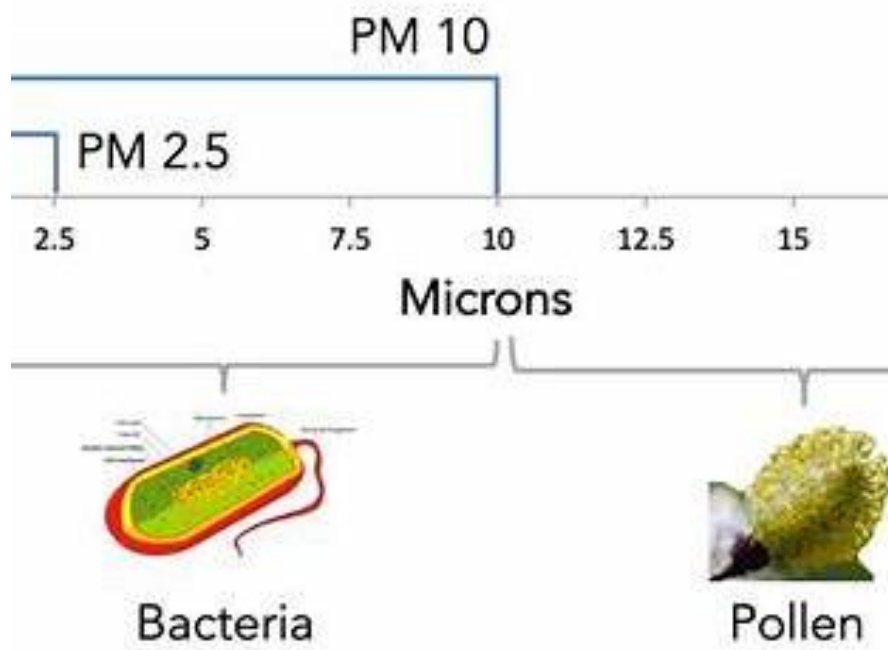


Figura 7: Diferencias de tamaño entre las partículas

Fuente: Smart Air Filters

Y la siguiente imagen representa la escala relativa entre polvo grueso (PM₁₀) y polvo fino (MP_{2.5}), ilustrando su impacto potencial en la salud debido a la menor capacidad de filtración por el cuerpo.

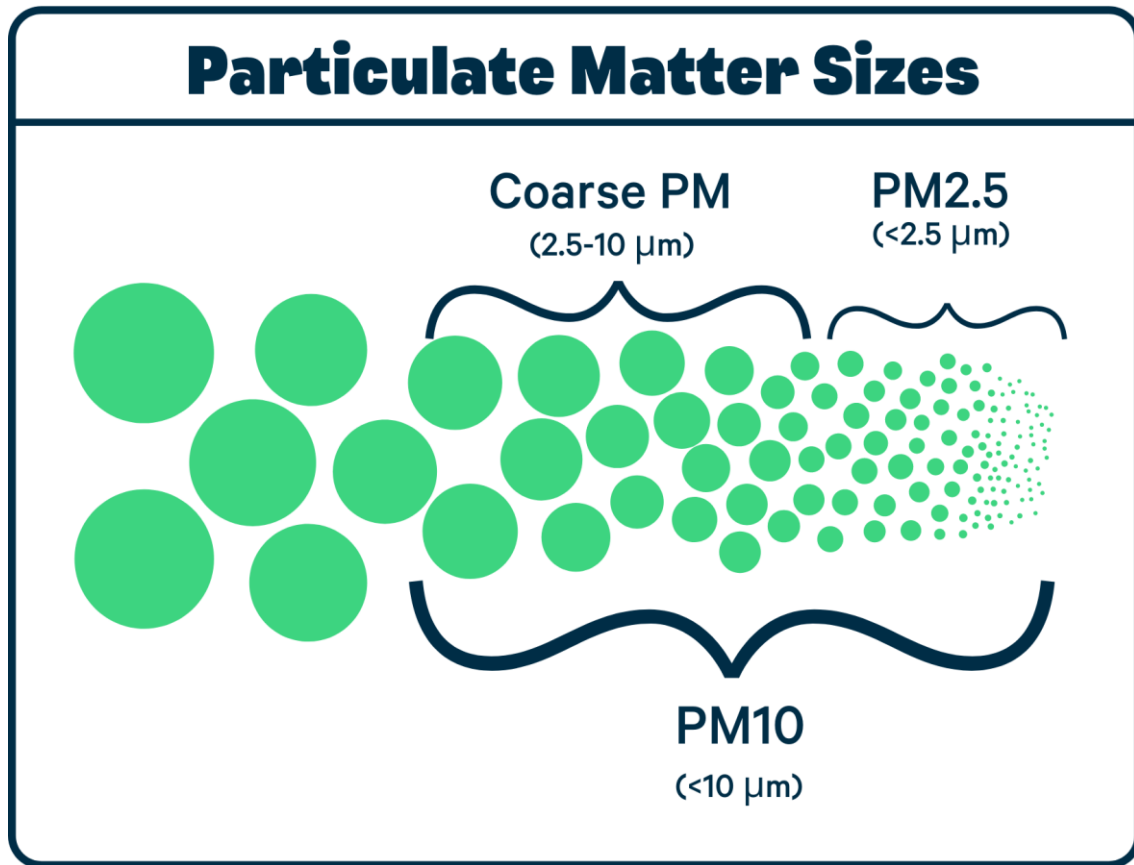


Figura 8: Tamaño relativo de contaminantes MP 10 vs MP 2,5

Fuente: Environmental Protection Agency (EPA)

La exposición prolongada o recurrente al MP2.5 se ha asociado a una amplia gama de efectos adversos para la salud. Entre los más relevantes se encuentran enfermedades respiratorias crónicas como el asma, la bronquitis y la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC), así como afecciones cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares y, en casos extremos, cáncer pulmonar. Los grupos más vulnerables incluyen a niños, adultos mayores y personas con enfermedades preexistentes, quienes presentan mayor riesgo ante niveles elevados de este contaminante.

El siguiente gráfico es una representación ilustrativa basada en literatura científica general sobre los efectos del MP2.5 en distintos grupos poblacionales y tiene como objetivo apoyar visualmente y reflejar lo que la evidencia médica y ambiental indica sobre la mayor vulnerabilidad relativa de ciertos grupos:

Niños: mayor sensibilidad por desarrollo pulmonar en curso.

Adultos mayores: menor capacidad pulmonar y mayor prevalencia de enfermedades crónicas.

Personas con enfermedades preexistentes: especialmente aquellas con afecciones respiratorias o cardiovasculares.

Adultos sanos: grupo de comparación base (riesgo relativo = 1).

Para respaldar este gráfico en tu tesis con fuentes más formales, puedes citar documentos como:

Health Effects Institute (HEI). “State of Global Air 2020.”

Organización Mundial de la Salud (OMS). “Air Pollution and Child Health: Prescribing Clean Air” (2018).

Ministerio del Medio Ambiente de Chile. “Informe del Estado del Medio Ambiente” (última edición disponible).

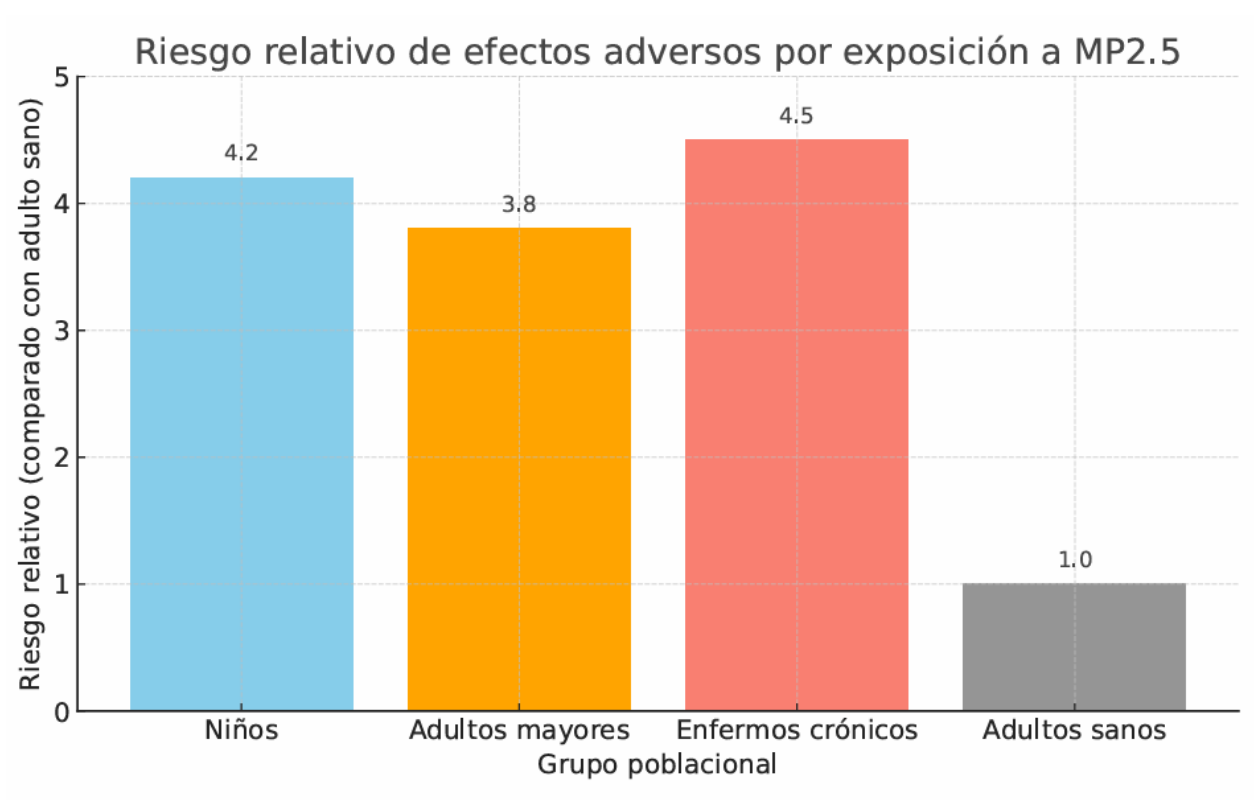


Figura 9: Riesgo relativo por exposición vs grupo poblacional

Fuente: Elaboración propia

A nivel nacional, el Ministerio del Medio Ambiente ha identificado al MP2.5 como el contaminante más dañino en términos de salud pública, siendo responsable de miles de muertes prematuras al año. Durante los meses fríos, su concentración en zonas urbanas del centro-sur del país se incrementa significativamente, principalmente por el uso de calefacción a leña en los hogares.

Para resguardar la salud de la población, Chile ha establecido normas de calidad del aire que fijan umbrales máximos para la concentración de material particulado fino (MP2.5). La superación de estos límites activa la declaración de episodios críticos de contaminación, lo que conlleva restricciones al uso de ciertos combustibles y tecnologías emisoras, especialmente en zonas declaradas como saturadas. En este contexto, reducir la exposición a MP2.5 se ha convertido en uno de los principales objetivos de las políticas públicas de descontaminación atmosférica.

El Gran Concepción presenta un comportamiento estacional claramente definido en sus niveles de MP2.5. Durante los meses de otoño e invierno, las concentraciones aumentan de forma sostenida, impulsadas por el uso intensivo de calefacción residencial a leña y por condiciones meteorológicas desfavorables para la ventilación atmosférica.

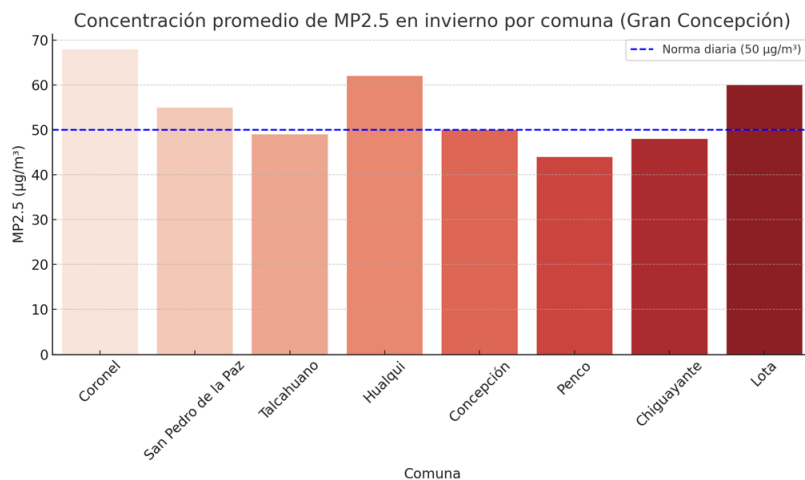


Figura 10: Concentración promedio Mp 2,5 por comuna entre 2021 vs 2023

Fuente: Seremi del Medio Ambiente del Biobío

La figura siguiente compara las concentraciones mensuales promedio de MP2.5 para los años 2021 y 2022. En ambos casos, se observa la reiterada superación del límite normativo diario ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), especialmente entre los meses de mayo y agosto.

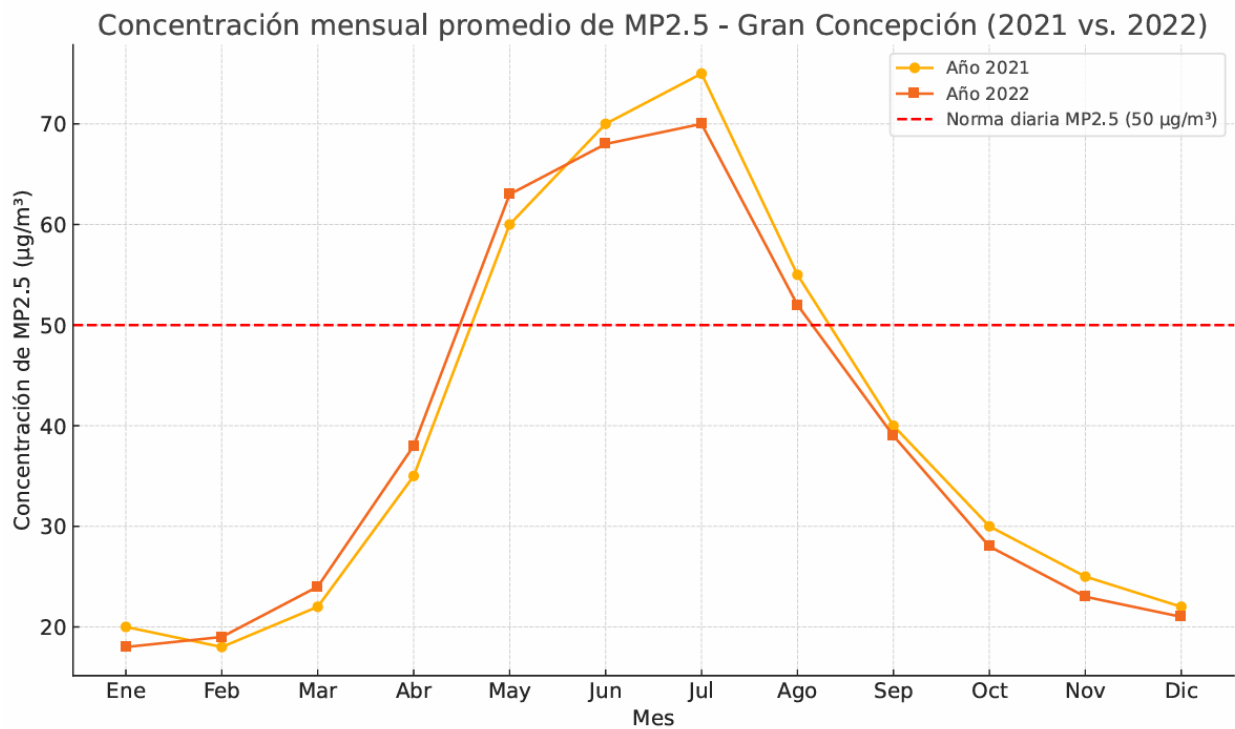


Figura 11: Concentración promedio Mp 2,5 2021 vs 2022

Fuente: Elaboración propia

Y la siguiente figura muestra las concentraciones mensuales promedio de MP2.5 entre los años 2021 y 2024. En este caso, se observa que se mantiene la reiterada superación del límite normativo diario ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$), especialmente entre los meses de mayo y agosto. Esta evidencia da cuenta de la magnitud y persistencia del problema, y refuerza la necesidad de incorporar tecnologías de climatización más limpias, eficientes y sostenibles en las estrategias de recambio térmico, como parte del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA).

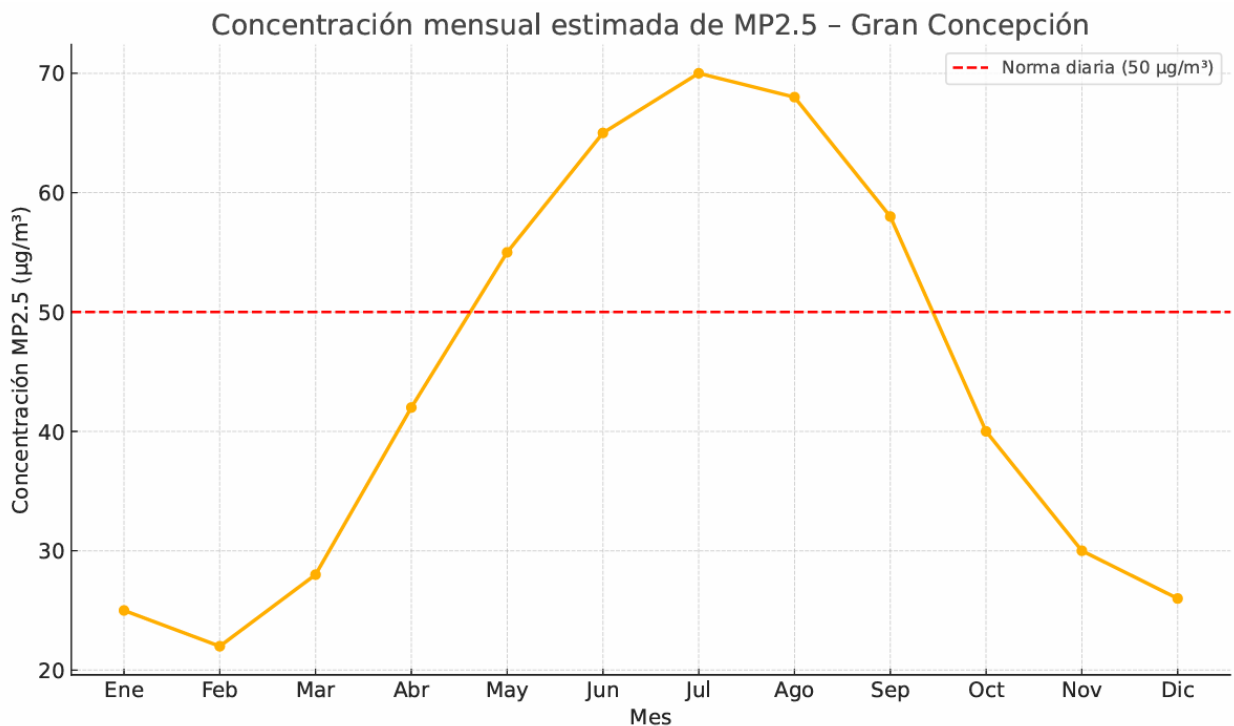


Figura 12: Concentración promedio Mp 2,5 entre el año 2021 hasta el año 2024

Fuente: Elaboración propia

1.3 Diagnóstico de la contaminación en el Gran Concepción

1.3.1 Caracterización territorial del área

El Gran Concepción conforma una conurbación integrada por nueve comunas principales de la Región del Biobío: **Concepción, Talcahuano, San Pedro de la Paz, Chiguayante, Penco, Coronel, Hualqui y Lota**. Esta área concentra una alta densidad poblacional y actividad residencial, lo que, en combinación con condiciones climáticas adversas durante el invierno, origina episodios recurrentes de saturación por MP2.5. Las comunas costeras muestran mayor dispersión del contaminante en comparación con las comunas más interiores, donde se registran concentraciones más elevadas.

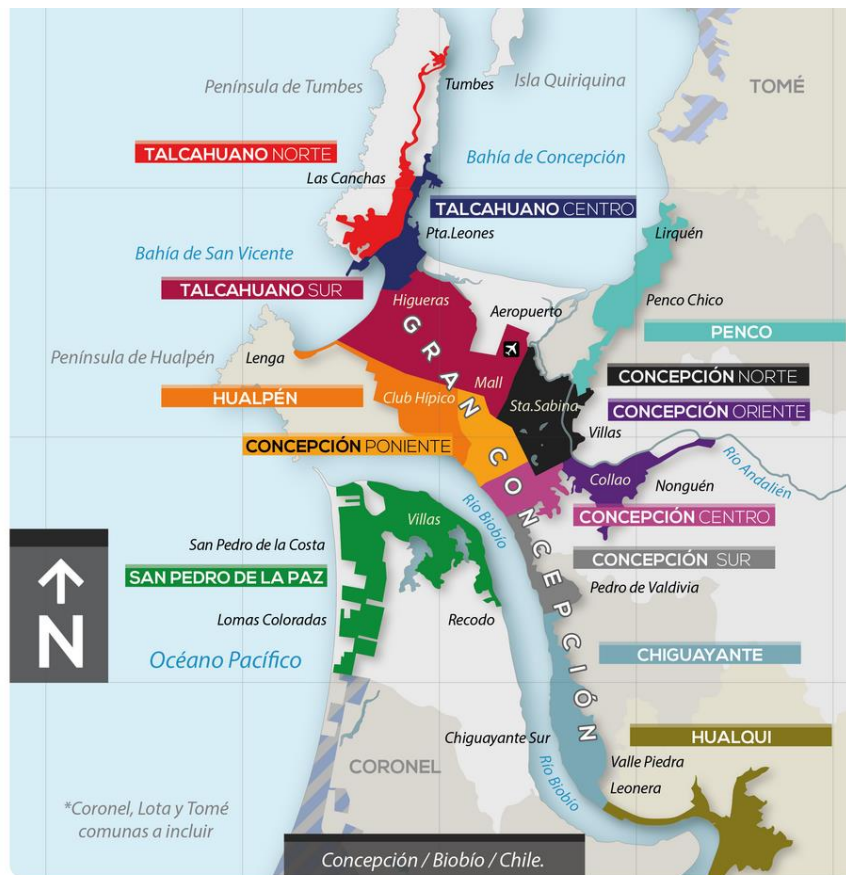


Figura 13: Mapa del gran Concepción

Fuente: Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International

Gráfico esquemático de las comunas que conforman el Gran Concepción donde se puede distinguir entre:

- **Comunas costeras** (Talcahuano, Penco, Lota)
- **Comunas interiores** (Concepción, Chiguayante, Hualqui)

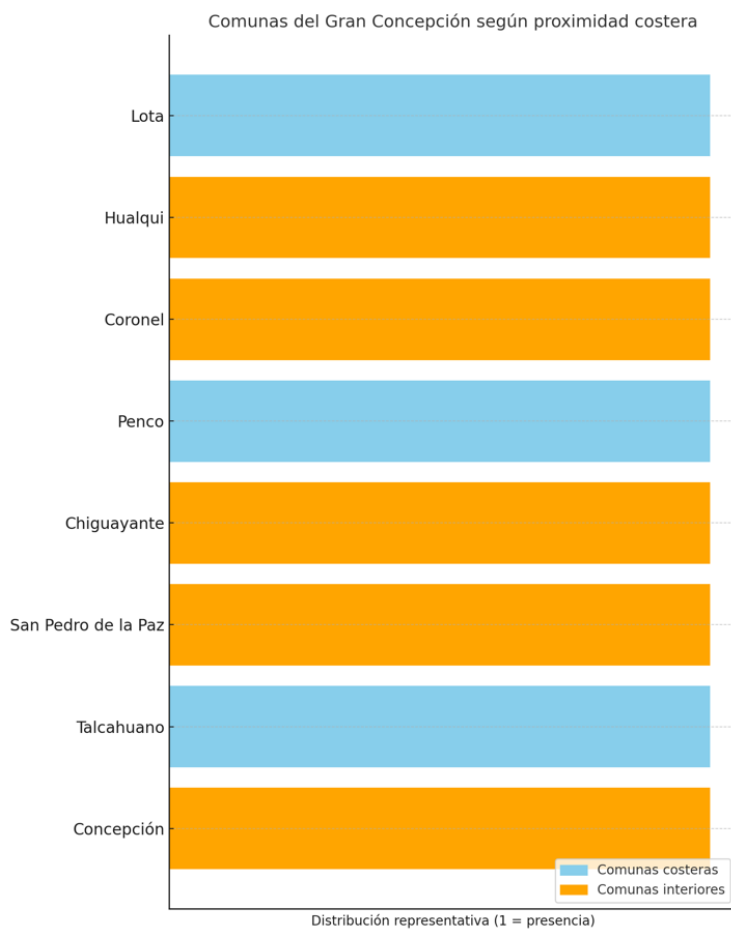


Figura 14: Comunas diferenciadas por la proximidad a sectores costeros.

Fuente: Elaboración propia

1.3.2 Datos históricos de superaciones de norma

A lo largo de la última década, las comunas del Gran Concepción han registrado múltiples jornadas que exceden el límite diario de **50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , definido por la normativa nacional para MP2.5. La autoridad sanitaria declaró la zona como “saturada” mediante la Resolución Exenta N.º 1.187 en 2015. Por ejemplo, Coronel superó el umbral en alrededor de 40 a 50 días durante los inviernos recientes, mientras que otras comunas como Talcahuano, San Pedro de la Paz y Hualqui también registraron niveles críticos con regularidad.

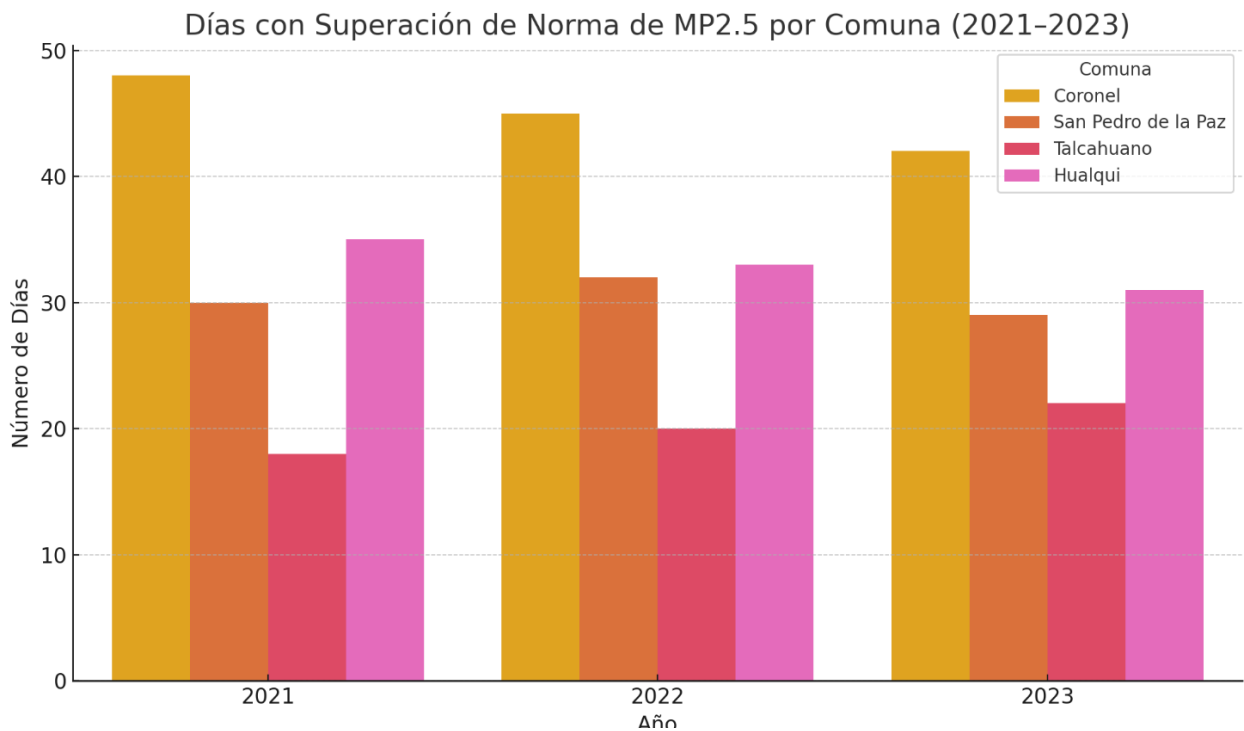


Figura 15: Días con superación de norma MP 2,5 por comuna

Fuente: Elaboración propia

1.3.3 Estaciones de monitoreo y activación de episodios críticos

La vigilancia de la calidad del aire en el Gran Concepción opera a través del **Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA)**. Las estaciones ubicadas en comunas estratégicas como **Coronel, Talcahuano y Hualqui** proporcionan datos diarios de MP2.5. Cuando se proyecta que las concentraciones superen el límite normativo durante el día, se activan protocolos de **alerta ambiental, preemergencia o emergencia**, los cuales incluyen medidas restrictivas orientadas a limitar el uso de leña y promover el uso de tecnologías menos contaminantes.

A continuación, se detallan algunas de las principales estaciones que se encuentran actualmente operativas entregando información del material particulado 2,5 en las distintas comunas del gran Concepción. –

Estación Kingston College ubicada en la comuna de Concepción.

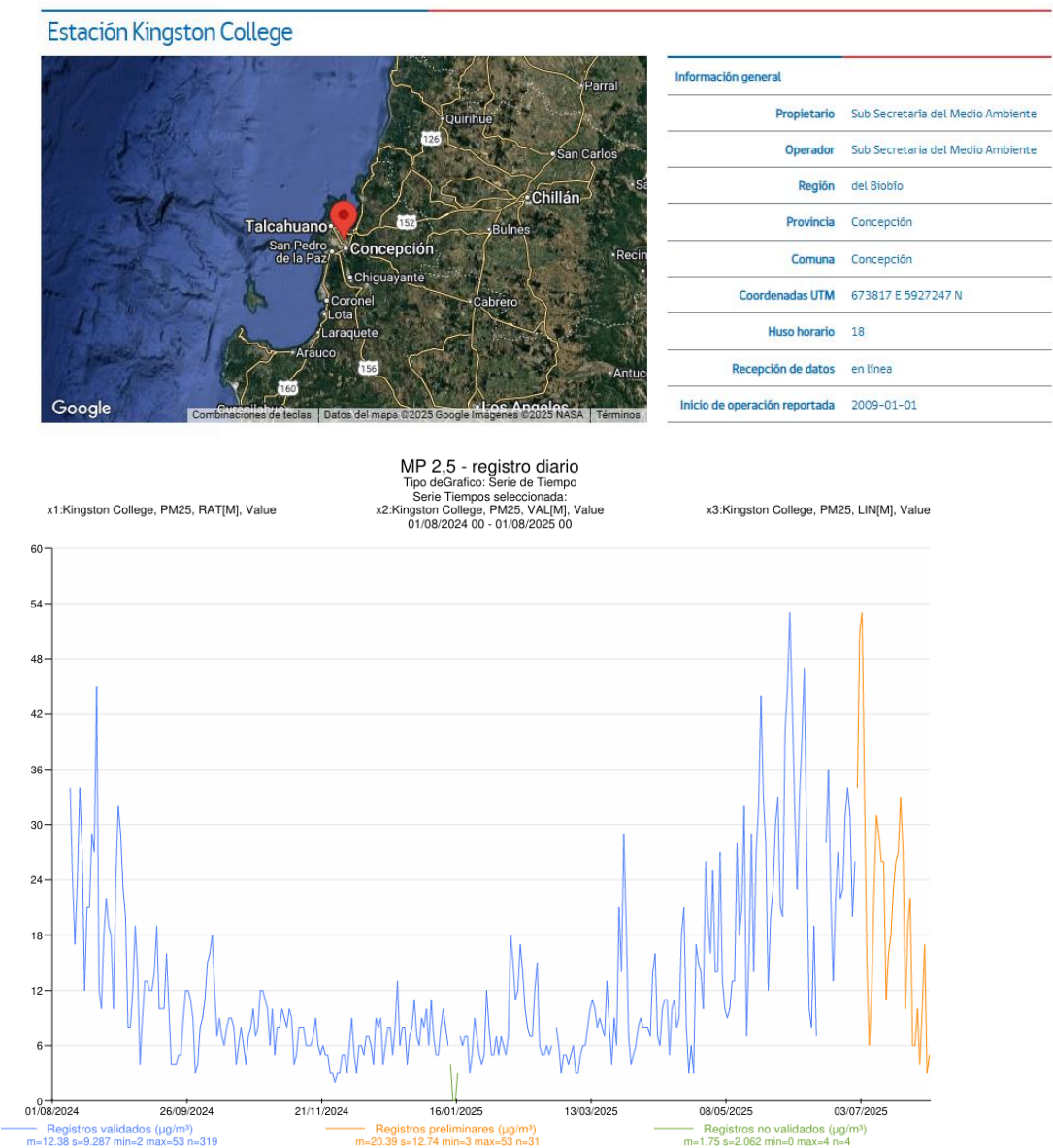


Figura 16: Registro diario Mp 2,5 Estacion KC Comuna de Concepcion

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Cerro Merquin ubicada en la comuna de Coronel.

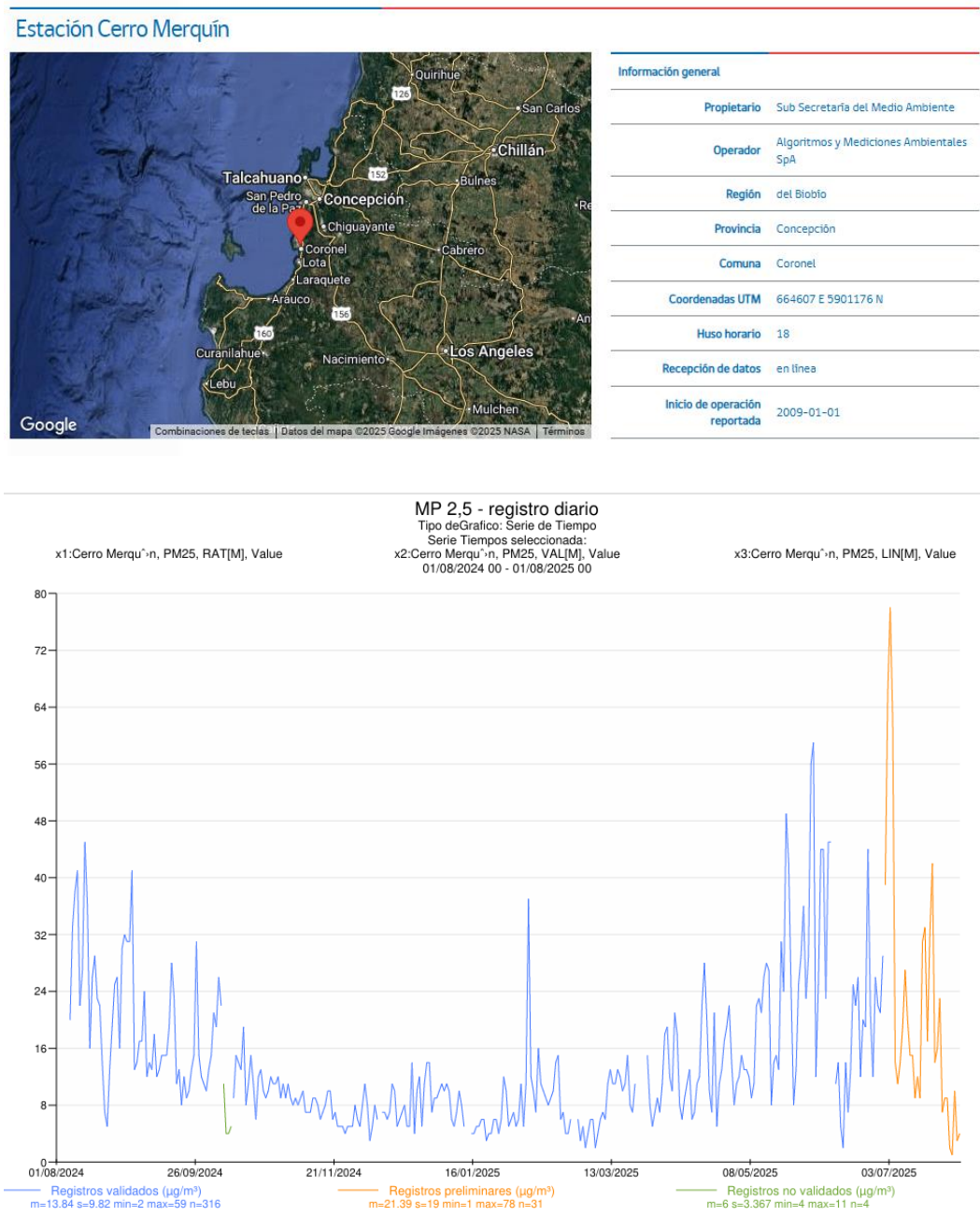


Figura 17: Registro diario Mp 2,5 Estacion Cerro Merquin Comuna de Coronel

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Escuadrón ENEL ubicada en la comuna de Coronel.

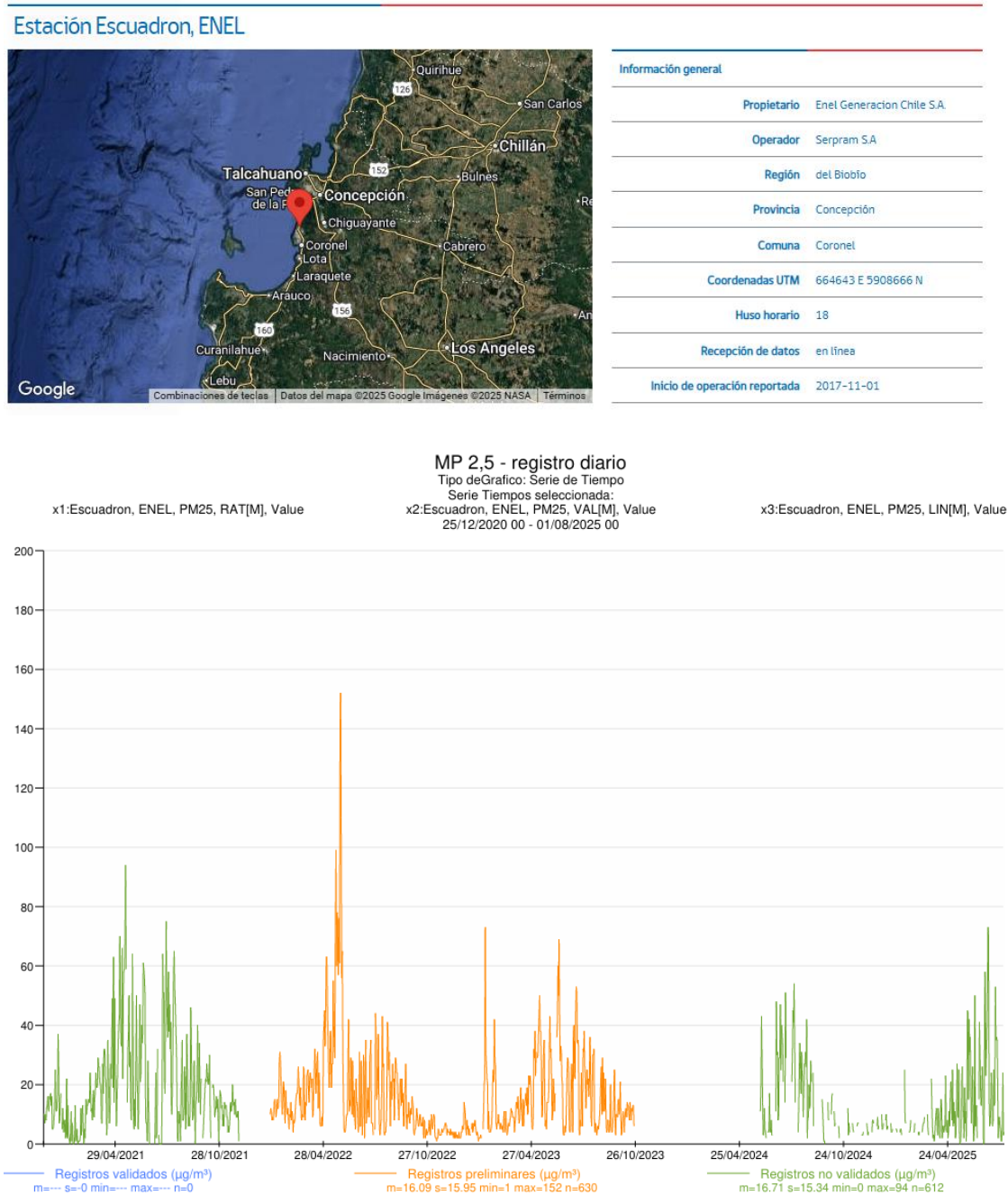


Figura 18: Registro diario Mp 2,5 Estacion Escuadron ENEL Comuna de Coronel

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Escuadrón Enesa ubicada en la comuna de Coronel.

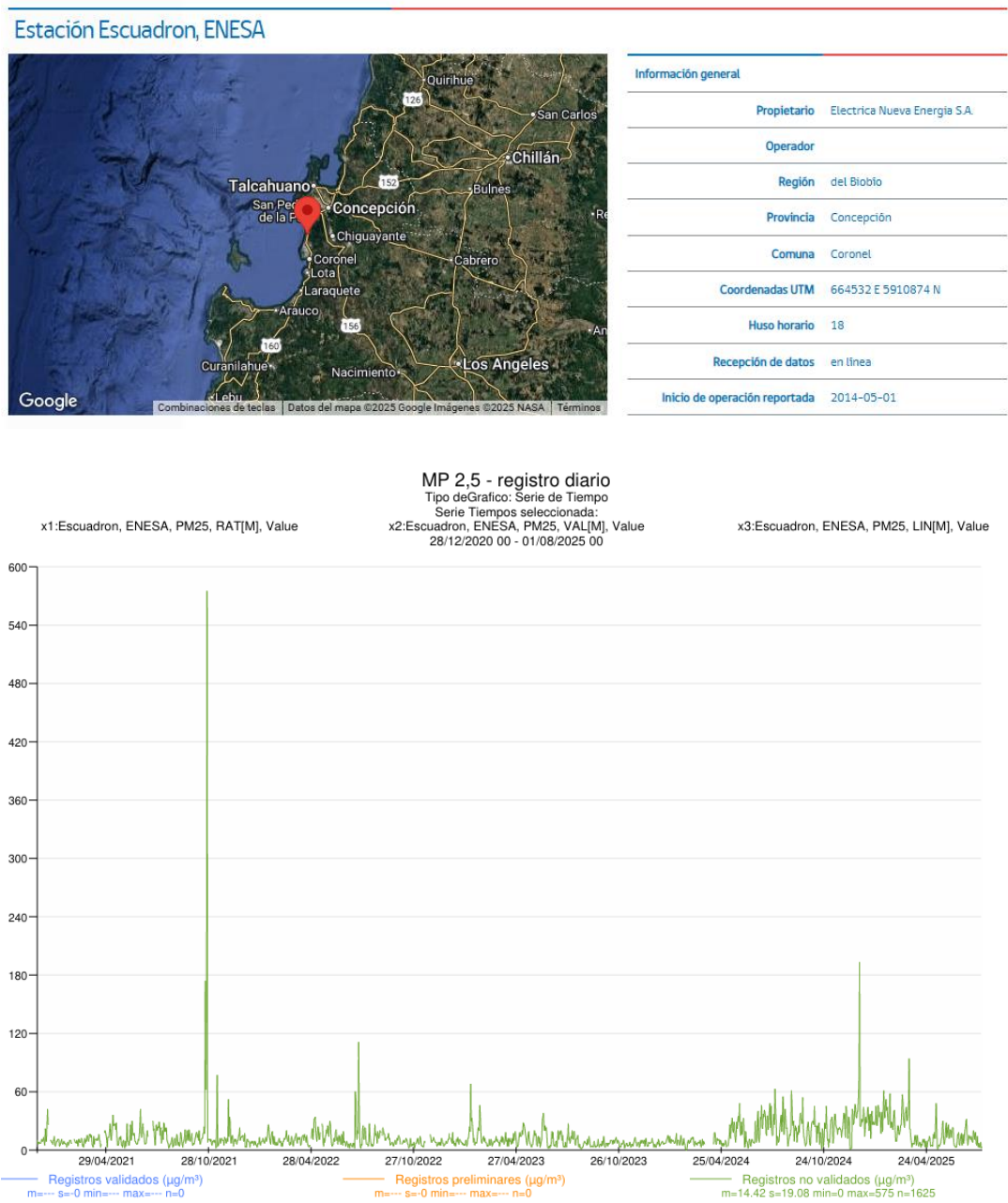


Figura 19: Registro diario Mp 2,5 Estacion Escuadron ENESA Comuna de Coronel

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Lagunillas, ENEL ubicada en la comuna de Coronel.

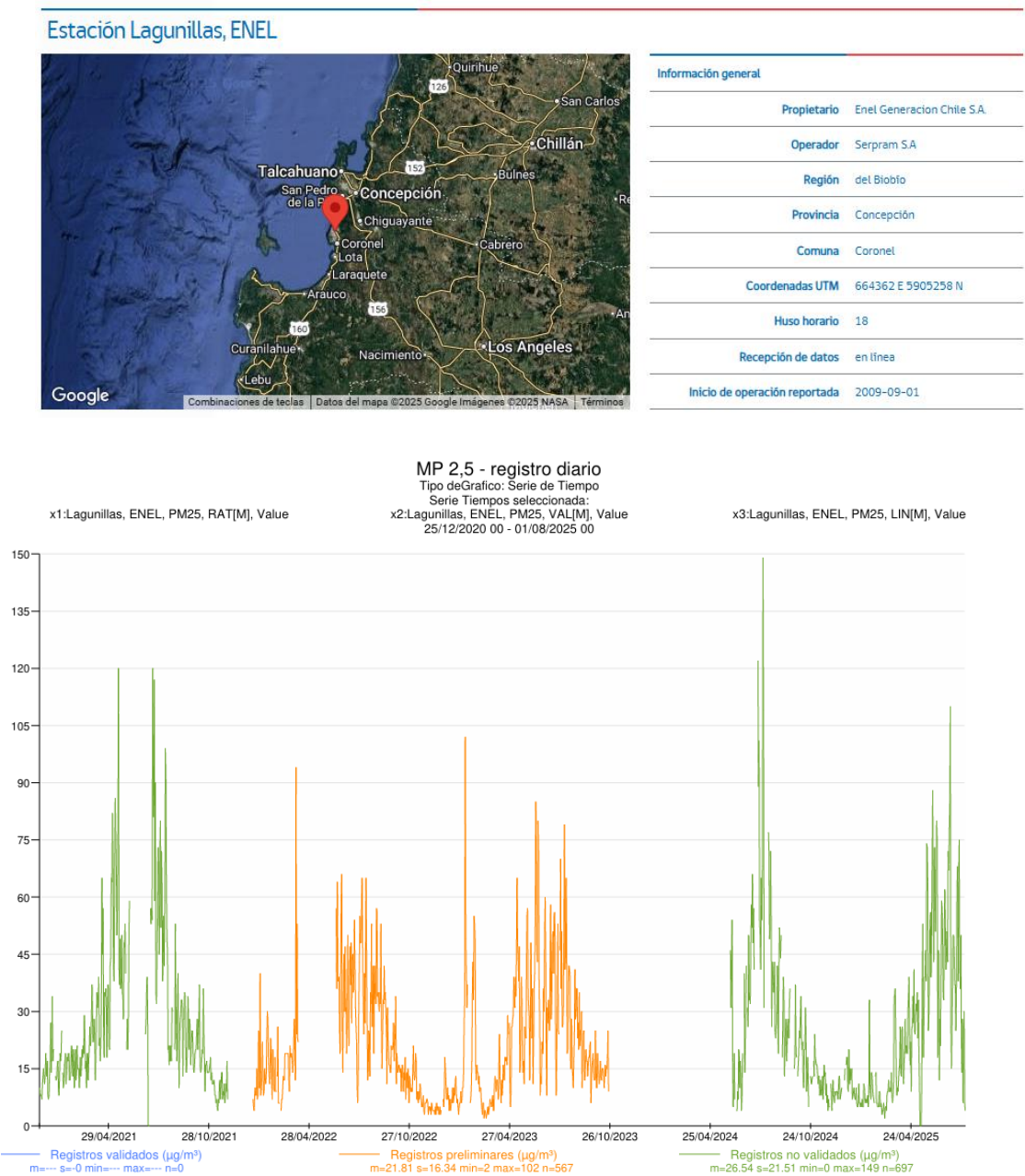


Figura 20: Registro diario Mp 2,5 Estacion Lagunillas ENEL Comuna de Coronel

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Lota rural, ubicada en la comuna de Coronel.

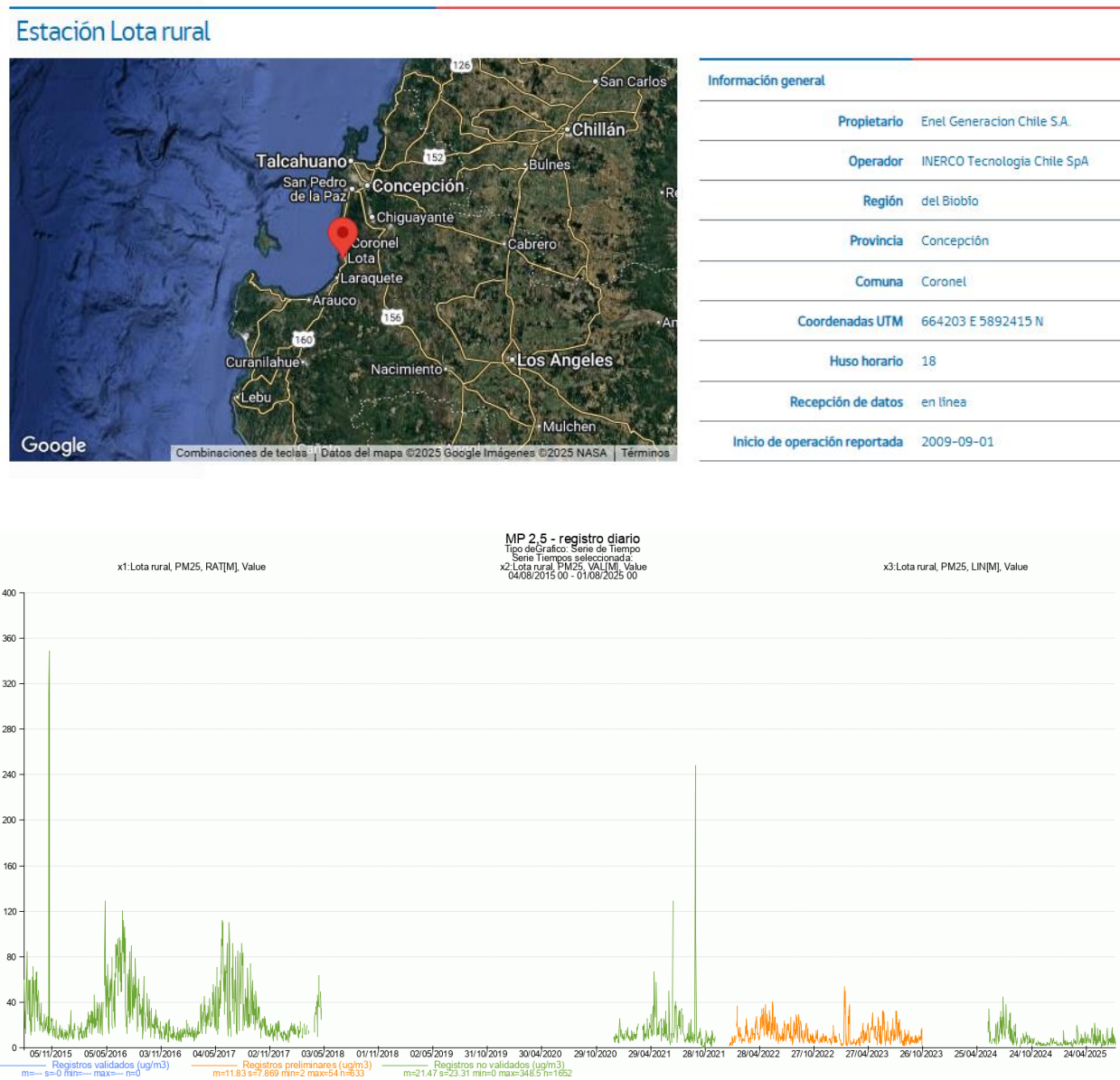


Figura 21: Registro diario Mp 2,5 Estacion Lota Rural Comuna de Coronel

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Lota urbana, ubicada en la comuna de Coronel.

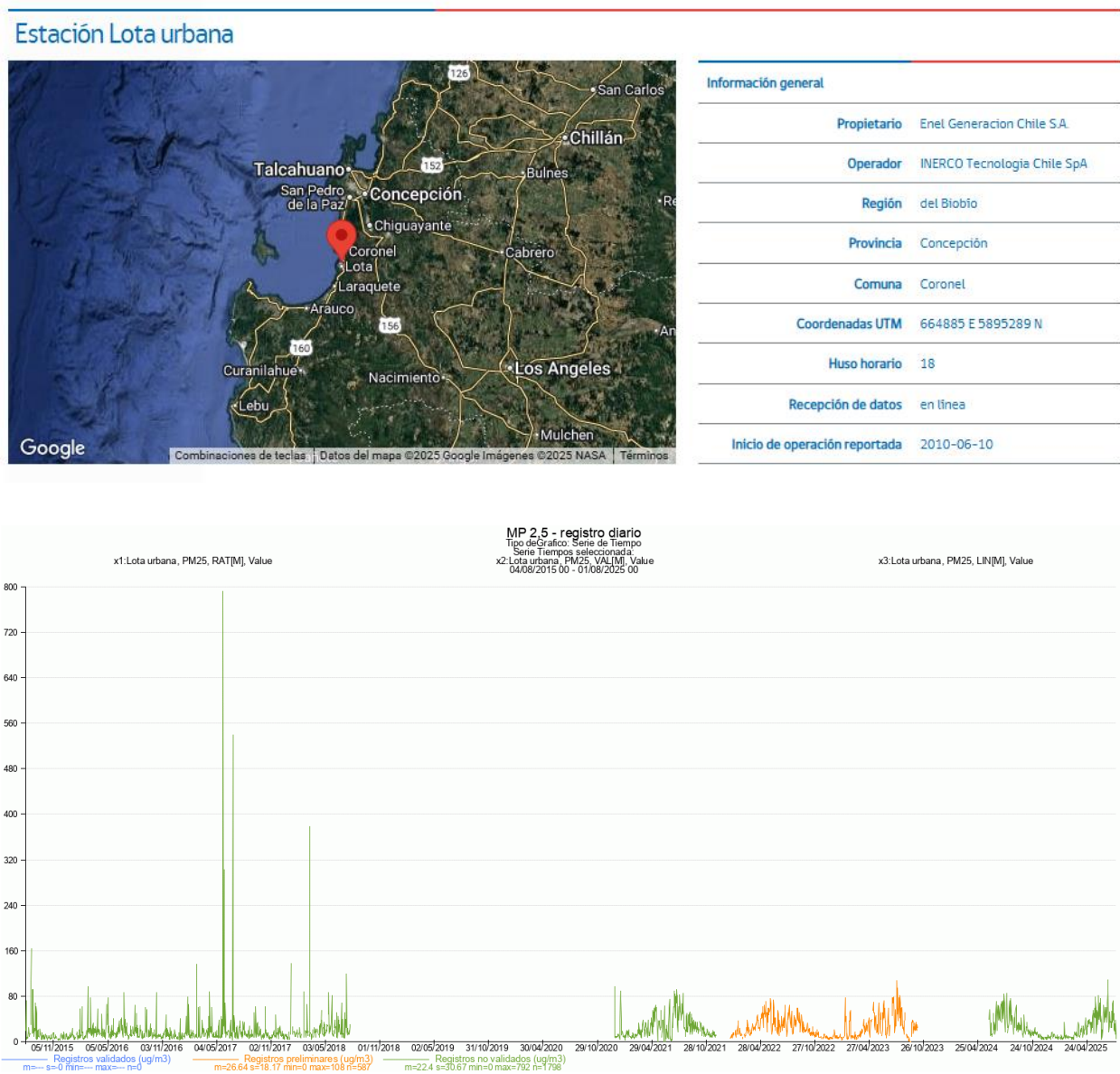


Figura 22: Registro diario Mp 2,5 Estacion Lota Urbana Comuna de Coronel

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Balneario Curanilahue, ubicada en la comuna de Curanilahue.

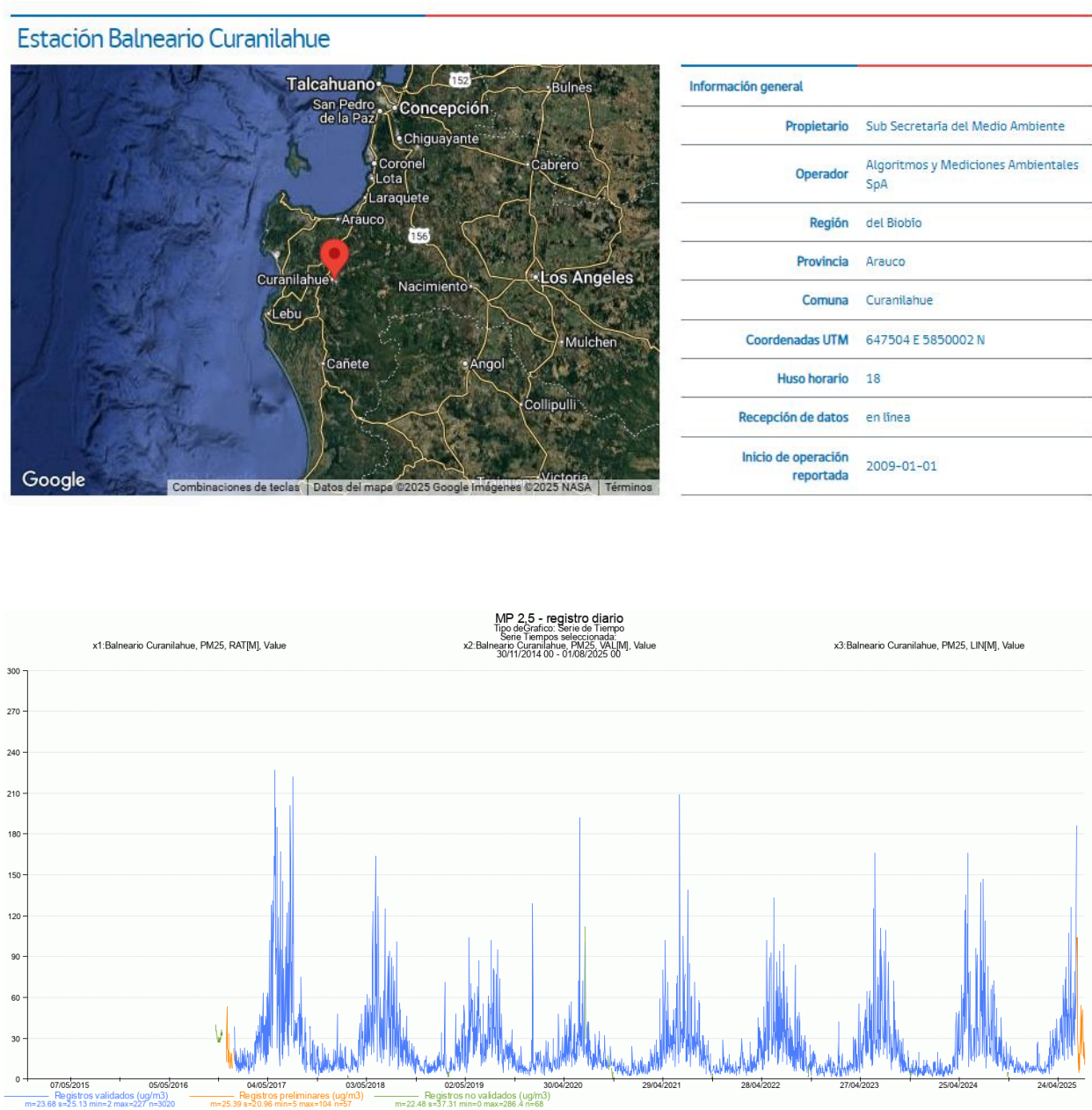


Figura 23: Registro diario Mp 2,5 Estación Balneario Curanilahue Comuna de Curanilahue

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Bocatoma, ubicada en la comuna de Hualpén.

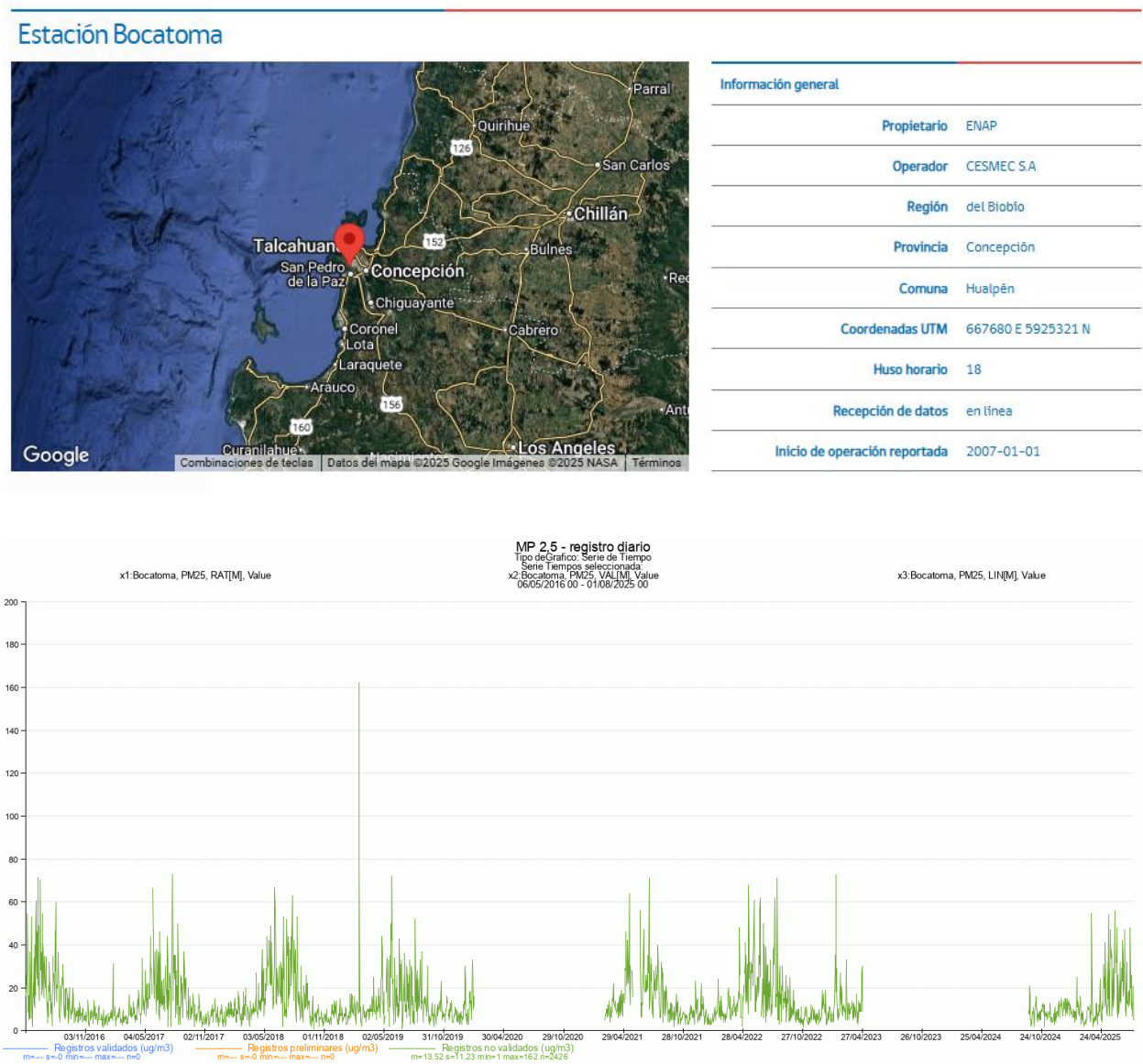


Figura 24: Registro diario Mp 2,5 Estación Bocatoma Comuna de Hualpén

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Enap Price, ubicada en la comuna de Hualpén.

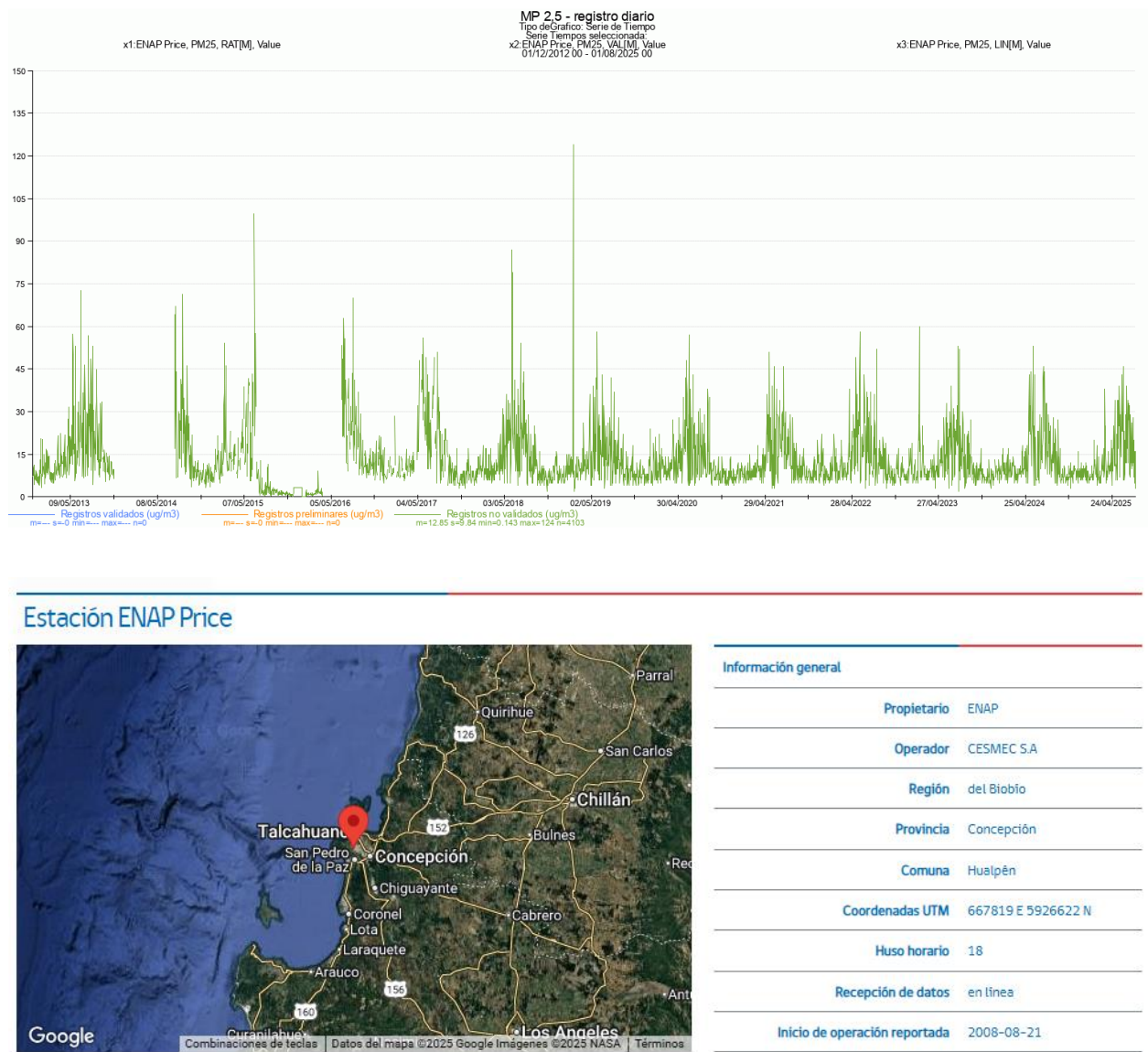


Figura 25: Registro diario Mp 2,5 Estación Enap Price Comuna de Hualpén

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Junji, ubicada en la comuna de Hualpen.

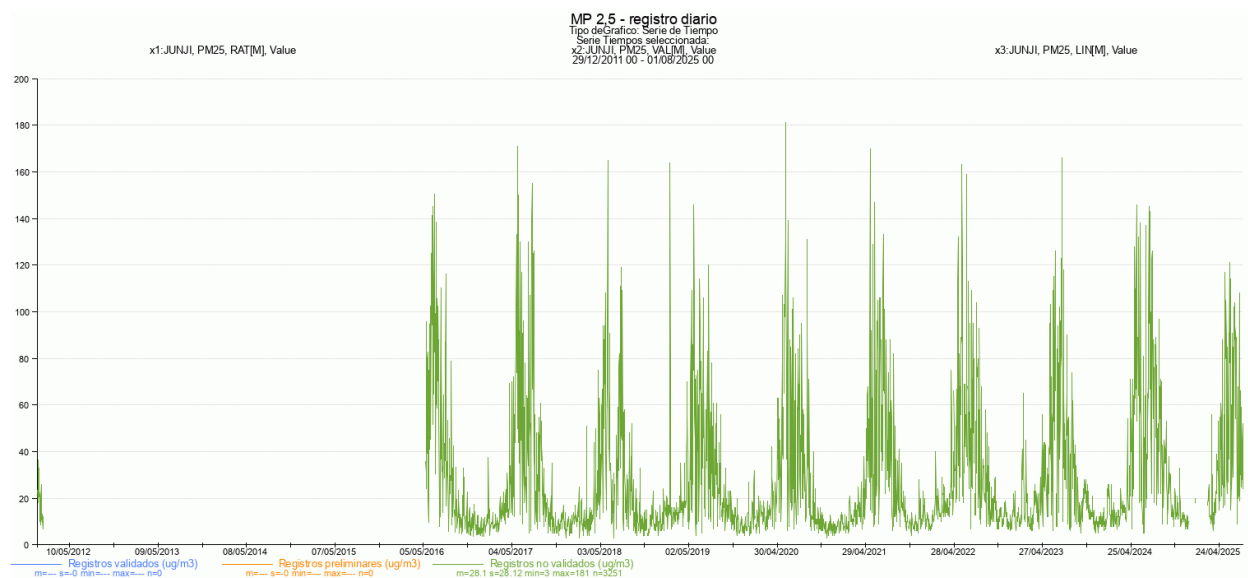
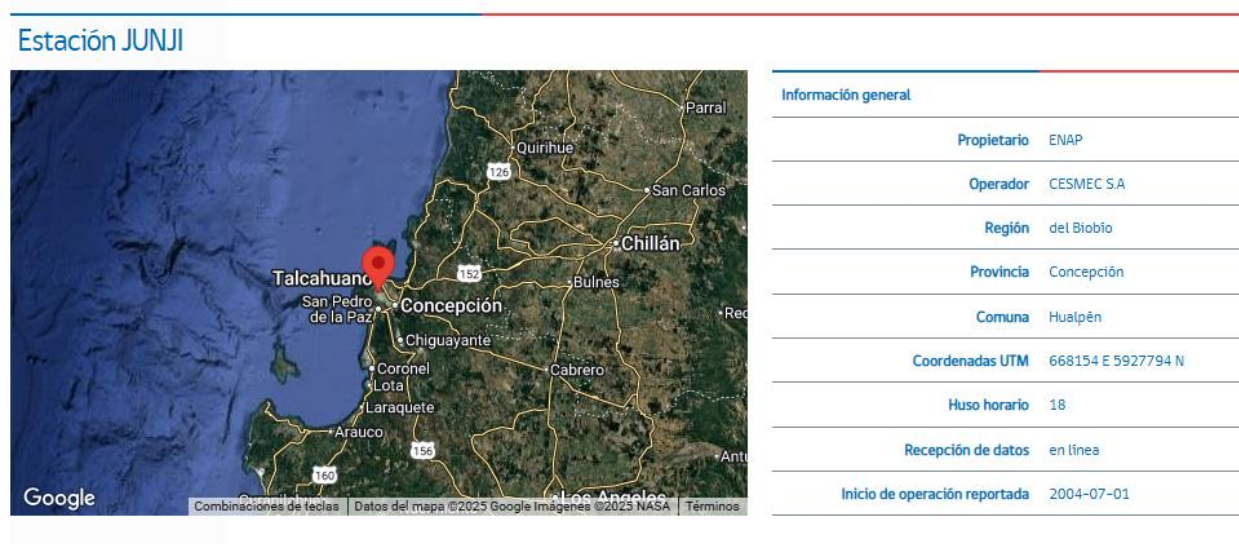


Figura 26: Registro diario Mp 2,5 Estación Junji Comuna de Hualpén

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

Estación Hualqui, ubicada en la comuna de Hualqui.

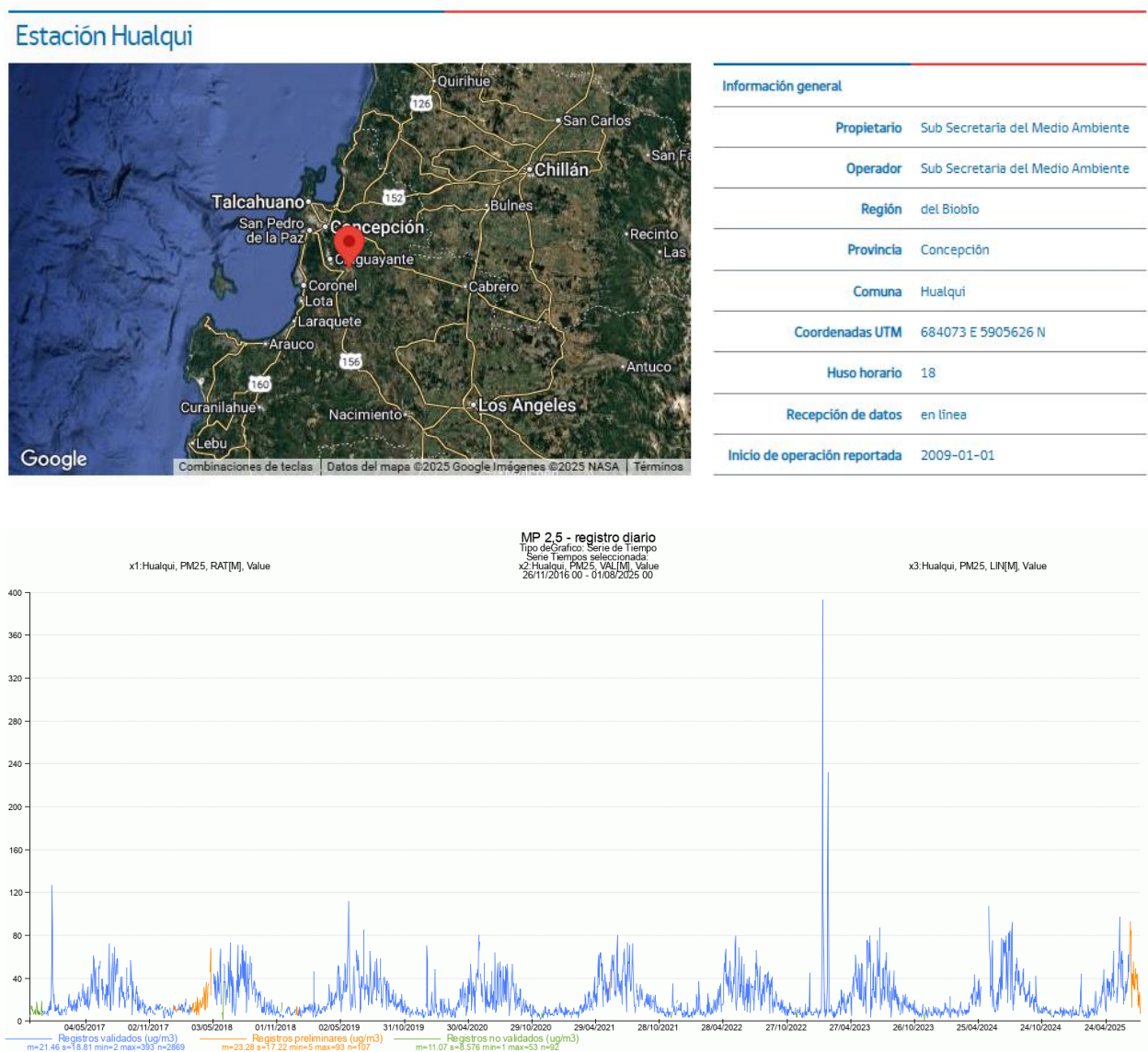


Figura 27: Registro diario Mp 2,5 Estación Hualqui Comuna de Hualqui

Fuente: Sistema de información nacional de calidad del aire (SINCA)

1.3.4 Identificación del patrón estacional (otoño-invierno)

El análisis temporal de las concentraciones de MP2.5 en el Gran Concepción revela un patrón estacional claramente definido. Durante los meses de invierno —especialmente entre abril y septiembre— se observa un aumento sostenido en los niveles de este contaminante, coincidiendo con el periodo de mayor uso de calefacción residencial a leña.

Esta tendencia ha sido consistente en los últimos años y se refleja en los registros de las estaciones de monitoreo del SINCA. Tal como lo demuestra el gráfico comparativo de los años 2021 y 2022 (ver sección anterior), los valores promedio mensuales de MP2.5 durante el invierno superan reiteradamente el umbral diario de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la normativa vigente. En contraste, los meses de primavera y verano presentan concentraciones significativamente más bajas, debido a la menor demanda energética y a condiciones meteorológicas más favorables para la dispersión de contaminantes.

Este comportamiento estacional refuerza la necesidad de políticas públicas focalizadas en el periodo invernal, donde se concentran los mayores riesgos para la salud de la población y la mayor presión sobre la calidad del aire. Asimismo, destaca la importancia de promover alternativas de calefacción más limpias y eficientes, especialmente en los meses donde se generan los episodios críticos de contaminación.

1.4 Marco normativo vigente y rol del sistema de fiscalización

La regulación ambiental en Chile ha evolucionado significativamente durante las últimas décadas, buscando hacer frente a los crecientes desafíos en materia de contaminación atmosférica, especialmente la asociada al material particulado fino (MP2.5). En el contexto del Gran Concepción, este marco normativo se articula a través de un conjunto de leyes, decretos y normas técnicas que establecen las directrices para la gestión de la calidad del aire, el uso de tecnologías de calefacción, y la promoción de soluciones energéticas más limpias y eficientes.

- Principales leyes y decretos aplicables

Ley N.º 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente

Esta ley constituye el pilar legal de la institucionalidad ambiental en Chile. Establece los principios generales de prevención, responsabilidad y sustentabilidad. Además, introduce los instrumentos de gestión ambiental, entre ellos los Planes de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA), que son fundamentales en el control de la contaminación en zonas saturadas como el Gran Concepción.

Decreto Supremo N.º 6/2018 (PPDA Concepción Metropolitano)

Declara la zona saturada por MP2.5 y MP10, estableciendo un conjunto de medidas restrictivas y estructurales para reducir las emisiones, entre ellas:

Restricción al uso de calefactores a leña durante episodios críticos.

Incentivos al recambio tecnológico (estufas a pellet y splits eléctricos).

Promoción de tecnologías de bajas emisiones.

Fiscalización del uso de leña no certificada.

Establecimiento de metas de reducción a 10 años.

Decreto Supremo N.º 12/2011 – Norma de calidad del aire para MP2.5

Fija los límites máximos de concentración:

Límite diario: 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Límite anual: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La superación de estos límites activa episodios críticos (alerta, preemergencia o emergencia ambiental), con restricciones obligatorias al uso de tecnologías contaminantes.

Decreto Supremo N.º 39/2011 – Norma de emisión para calefactores a leña

Establece límites de emisiones para estufas que utilizan leña como combustible, regulando contaminantes como MP2.5 y monóxido de carbono (CO). Aplica a los equipos comercializados dentro del país, incentivando una transición hacia tecnologías más limpias.

Ley N.º 21.305 sobre Eficiencia Energética (2021)

Promueve el uso racional y eficiente de la energía, estableciendo obligaciones de etiquetado energético, metas sectoriales y la incorporación de tecnologías limpias en edificaciones y procesos industriales. Es clave para justificar la incorporación de bombas de calor en el sector residencial.

Normas Técnicas Chilenas (NCh) aplicables a bombas de calor (NCh 3524:2020)

Regulan los requisitos de seguridad, rendimiento y eficiencia de las bombas de calor utilizadas en climatización. Estas normas permiten asegurar el cumplimiento de estándares mínimos para su operación en viviendas chilenas.

El **Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA)** es la principal herramienta de monitoreo ambiental en el país. Administra una red de estaciones de medición automática que registran datos en tiempo real sobre los principales contaminantes del aire, entre ellos el MP2.5.

En el Gran Concepción, el SINCA cuenta con estaciones ubicadas en comunas críticas como Coronel, Talcahuano y Hualqui, las cuales entregan datos que permiten:

- Determinar el cumplimiento o superación de los límites normativos.

- Activar episodios críticos y aplicar restricciones del PPDA.

- Apoyar el diseño de políticas públicas basadas en evidencia.

- Informar a la ciudadanía sobre la calidad del aire.

Por su parte, la **Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)** y las **SEREMI del Medio Ambiente y de Salud** son responsables de la fiscalización del cumplimiento normativo. Sus funciones incluyen:

- Controlar el uso de leña húmeda y artefactos no certificados.

- Supervisar los programas de recambio de calefactores.

- Aplicar sanciones en caso de incumplimiento.

- Verificar la calidad del pellet y otros combustibles alternativos.

1.5 Uso de la leña como principal fuente contaminante

El uso de leña como principal medio de calefacción residencial en el Gran Concepción responde a una combinación de factores históricos, culturales y económicos. Si bien su utilización ha permitido a miles de hogares mantener condiciones mínimas de confort térmico durante los meses fríos, también ha generado consecuencias ambientales y sanitarias significativas.

Arraigo cultural y percepción de la leña

En muchas zonas del centro-sur de Chile, incluida la Región del Biobío, la leña ha sido históricamente percibida como un recurso abundante, económico y “natural”, lo que ha reforzado su uso intergeneracionalmente. Esta visión cultural positiva ha dificultado la adopción de alternativas más limpias, ya que la leña no solo representa una fuente de energía, sino también una tradición profundamente enraizada en el estilo de vida de la población, especialmente en zonas semiurbanas y rurales. Además, existe una percepción errónea de que, al provenir de la naturaleza, su impacto ambiental es menor, ignorando los efectos negativos de su combustión ineficiente.

Mercado informal y leña húmeda

Uno de los mayores problemas asociados al uso de leña es su comercialización en condiciones no reguladas. En el Gran Concepción, gran parte del suministro de leña proviene del mercado informal, donde no se controla ni el origen ni el nivel de humedad del producto. La leña húmeda —con un contenido de humedad superior al 25%— es comúnmente vendida por ser más económica, pero su combustión es altamente ineficiente. Esto genera una emisión mucho mayor de material particulado fino (MP2.5), incrementando la contaminación del aire y los riesgos para la salud. A pesar de los esfuerzos por certificar la leña y promover buenas prácticas, la informalidad sigue siendo predominante.

Diferencias entre leña húmeda y seca

Desde el punto de vista técnico, la diferencia entre utilizar leña seca y leña húmeda es sustancial. La leña seca, al poseer menor contenido de agua, permite una combustión más completa, lo que mejora el rendimiento energético del calefactor y reduce las emisiones de contaminantes. Por el contrario, la leña húmeda genera una combustión incompleta, elevando considerablemente la emisión de MP2.5, monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles. Estudios del Ministerio del Medio Ambiente han demostrado que un calefactor a leña con leña húmeda puede emitir hasta ocho veces más MP2.5 que con leña seca.

El siguiente gráfico muestra las emisiones relativas de MP2.5 según el tipo de leña, destacando cómo la leña húmeda puede generar hasta 8 veces más emisiones que la leña seca certificada. Si deseas, puedo exportarlo en PDF o agregarlo a tu documento de tesis

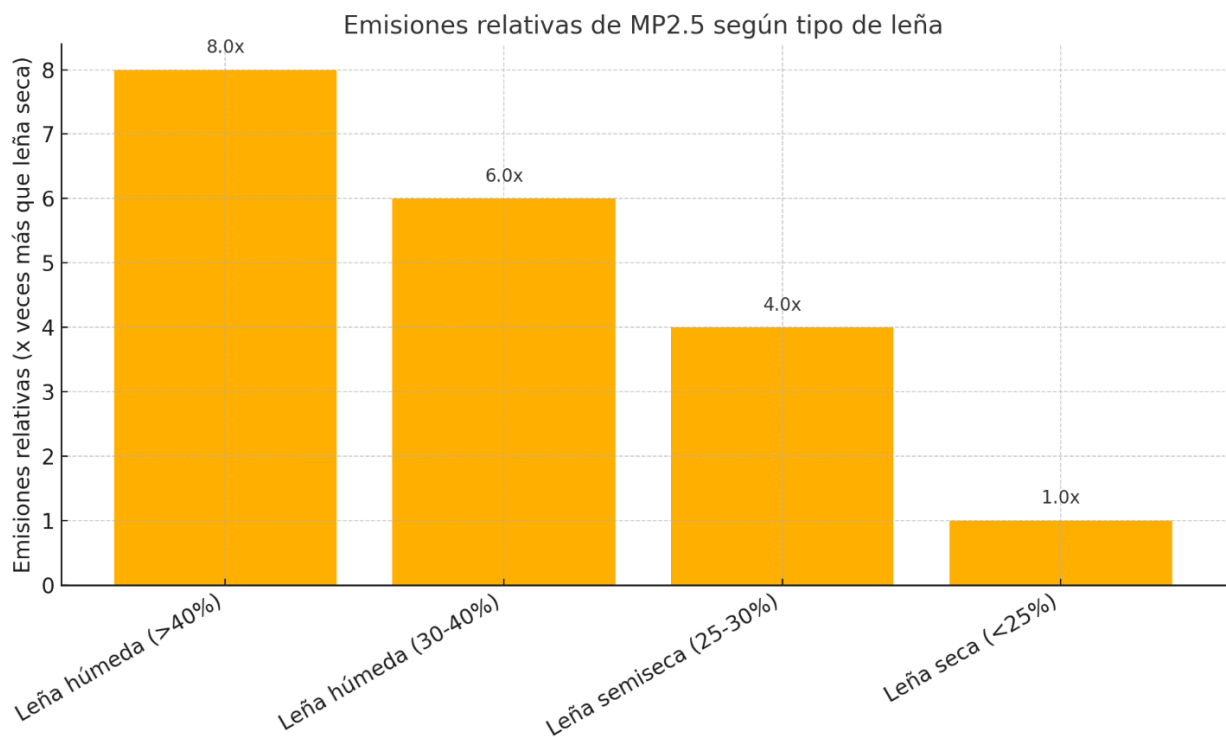


Figura 28: Emisiones Relativas de leña húmeda vs leña seca

Fuente: Elaboración propia

Datos de emisiones comparativas

Diversos estudios técnicos han confirmado que la calefacción a leña representa entre el 60% y el 80% de las emisiones totales de MP2.5 en el Gran Concepción durante el invierno. Comparativamente, un calefactor a leña tradicional con leña húmeda puede emitir más de 3.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP2.5 al día, mientras que estufas a pellet modernas y los aires acondicionados emiten cifras considerablemente inferiores, o incluso nulas a nivel local en el caso de estas últimas. Esta diferencia justifica la necesidad de transición tecnológica hacia alternativas más limpias.

Impacto en zonas vulnerables y privadas

El impacto del uso de leña se manifiesta tanto en sectores vulnerables como en zonas de mayor poder adquisitivo. En los primeros, las viviendas suelen presentar deficiente aislación térmica, lo que aumenta el consumo de leña para alcanzar confort térmico. A pesar de los subsidios estatales disponibles, muchas familias no acceden a tecnologías más limpias por barreras económicas o falta de información. En las viviendas del segmento privado, aunque existe mayor posibilidad de inversión, muchas aún recurren a calefactores a leña por hábito o percepción de ahorro. En ambos casos, las emisiones contribuyen a la saturación ambiental de la zona, afectando a toda la población de forma transversal.

1.6 Limitaciones actuales de las tecnologías de calefacción

A pesar de los esfuerzos desplegados por el Estado a través del Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA), las tecnologías actualmente promovidas para calefacción residencial en el Gran Concepción —como estufas a pellet, calefactores a parafina y sistemas de aire acondicionado tipo split— presentan limitaciones significativas en cuanto a su desempeño real, eficiencia energética, costos de operación y factibilidad de implementación en viviendas con condiciones constructivas deficientes.

Desempeño real de estufas a leña, pellet, parafina y aire acondicionado

Estufas a leña (convencionales o certificadas):

A pesar de su amplia difusión, las estufas a leña presentan un bajo rendimiento térmico, especialmente si no están certificadas. Incluso los modelos certificados, si se utilizan con leña húmeda, generan emisiones significativas de MP2.5 y gases de combustión incompletos. Su eficiencia promedio varía entre 40% y 65%, y dependen altamente del tipo de leña y de la ventilación de la vivienda.

Estufas a pellet:

Se consideran una alternativa más limpia que la leña, ya que emiten menos contaminantes y tienen eficiencias superiores al 80%. Sin embargo, su funcionamiento requiere electricidad, lo que las vuelve vulnerables a cortes de suministro. Además, su costo de adquisición es elevado y la disponibilidad de pellet presenta problemas logísticos durante los meses de alta demanda, afectando su confiabilidad.

Calefactores a parafina:

Aunque presentan una buena capacidad de calefacción y bajos costos de inversión inicial, generan emisiones directas de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y dióxido de nitrógeno (NO₂), afectando la calidad del aire interior. Además, implican riesgos de seguridad (derrame, incendio) y dependencia de combustibles fósiles.

Aire acondicionado tipo split (modo calefacción):

Tienen una alta eficiencia energética (COP > 3 en promedio), y al ser eléctricos no generan emisiones locales. Sin embargo, su capacidad de calefacción está limitada a espacios cerrados, lo que los hace poco eficientes en viviendas grandes o mal aisladas. En invierno su rendimiento puede disminuir por las bajas temperaturas exteriores.

Distribución del uso de calefacción en los hogares de los chilenos:

Tipo de calefactor	Participación estimada (%)	Fuente/Referencia
Estufas a leña	~ 40%	Estudio Ministerio de Energía (2018): 39,6 % del consumo de energía en calefacción en hogares chilenos (sernac.cl, calefaccionsustentable.mma.gob.cl, lasestufasapellet.cl)
Gas licuado / gas natural	~ 31%	Mismo estudio (31,4 % combinado GLP + GN) (sernac.cl)
Electricidad (incluye parafina)	~ 26% (eléctricos + parafina)	El estudio asignó 25,7 % a electricidad, además ~2,6 % a parafina (sernac.cl)
Pellet / biomasa certificada	< 1–2%	Crecimiento reciente, pero aún bajo porcentaje de uso total (infor.cl, energia.gob.cl)

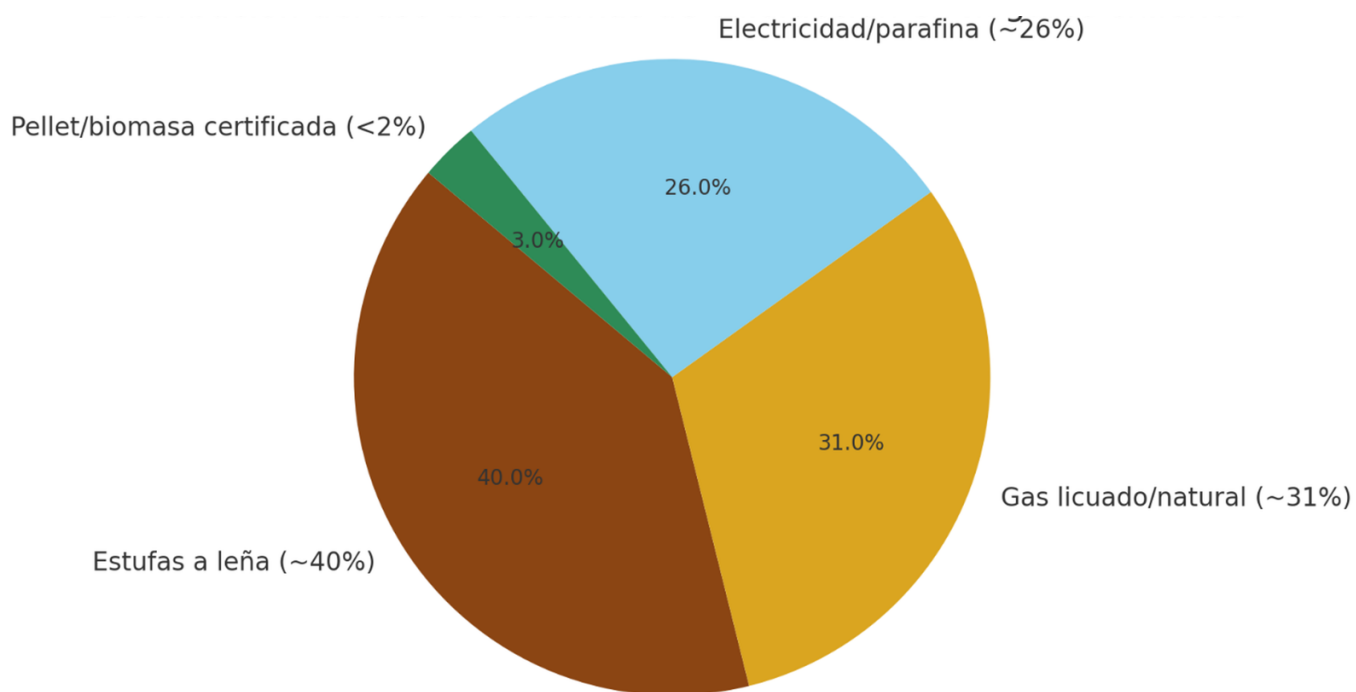


Figura 29: Grafico del uso de calefacción en los hogares de los chilenos

Fuente: Elaboración propia

Problemas de distribución, eficiencia y costos operacionales

Distribución y logística de suministro:

La venta de pellet y parafina depende de redes de distribución que no siempre cubren de manera oportuna a las zonas periféricas o rurales. Durante el invierno se presentan quiebres de stock, alzas de precios y dificultades de acceso para los usuarios.

Eficiencia energética:

Muchas de las tecnologías disponibles no alcanzan el rendimiento esperado debido a malas prácticas de uso, mantención deficiente o inadecuada compatibilidad con las características constructivas de la vivienda.

Costos operacionales:

Los hogares deben enfrentar gastos mensuales importantes por concepto de combustibles (parafina, pellet, electricidad), lo que puede volverse insostenible si no se acompaña con mejoras en aislación térmica. En comparación, la leña sigue siendo percibida como una opción más económica, lo que perpetúa su uso a pesar del impacto ambiental.

Inadecuada aislación térmica de las viviendas:

La mayoría del parque habitacional en el Gran Concepción, especialmente el construido antes de la entrada en vigencia de la Reglamentación Térmica (2007), presenta deficiencias en la envolvente térmica: muros, techumbres, ventanas y pisos sin aislación o con materiales ineficientes. Esto genera pérdidas de calor significativas, incrementando la demanda energética y los costos de calefacción.

Diversos estudios han evidenciado que más del 70% de las viviendas no cumplen con los estándares mínimos de aislación establecidos por el MINVU, lo cual obliga al sobreconsumo de energía para alcanzar el confort térmico. Esto reduce la efectividad de cualquier tecnología de calefacción y acentúa la contaminación atmosférica.

Diferencias entre el segmento social (con subsidios) y privado (inversión propia)

Segmento social:

El Estado, a través del MINVU y del Ministerio de Energía, ha implementado programas de subsidio para la rehabilitación térmica (aislación de viviendas) y recambio de calefactores. Estos programas buscan mejorar el rendimiento energético de los hogares más vulnerables, pero su cobertura es limitada y los tiempos de postulación y ejecución son largos. En muchos casos, la mejora tecnológica no va acompañada de una rehabilitación térmica integral.

Segmento privado:

En el caso de los hogares de clase media o alta, no existen subsidios directos para mejorar la eficiencia energética de las viviendas. La inversión recae completamente en los propietarios, quienes muchas veces optan por soluciones parciales o no priorizan la eficiencia energética como criterio de inversión. Esto genera una brecha importante en la adopción de tecnologías limpias y limita el impacto de las políticas públicas.

1.7 Necesidad de nuevas soluciones

Limitaciones de los programas actuales de recambio

A pesar de los esfuerzos institucionales para mejorar la calidad del aire, los programas de recambio de calefactores impulsados por el Ministerio del Medio Ambiente y gobiernos regionales han enfrentado importantes limitaciones. En primer lugar, su cobertura ha sido baja en relación con la magnitud del problema: el número de equipos sustituidos representa solo una fracción del parque de calefacción contaminante existente, especialmente en zonas urbanas densas como el Gran Concepción.

Además, el enfoque de los programas ha estado centrado en tecnologías que, si bien son menos contaminantes que la leña tradicional, no están exentas de limitaciones. Las estufas a pellet, por ejemplo, dependen de una cadena de suministro de combustible que puede ser inestable o insuficiente, especialmente en invierno, lo que compromete su confiabilidad. Por otro lado, los sistemas de aire acondicionado tipo split muestran buen desempeño en espacios pequeños, pero no logran calentar viviendas completas o mal aisladas, particularmente en condiciones climáticas adversas.

Otro problema estructural es que los programas han estado focalizados principalmente en el segmento social, dejando fuera a una gran parte de la población que, aunque no califica para subsidios, también requiere apoyo o incentivos para optar por tecnologías más limpias. Esta exclusión genera una brecha en la transición energética que dificulta la reducción efectiva de las emisiones en todo el territorio.

Relevancia de explorar nuevas tecnologías: bomba de calor

Frente a este escenario, se vuelve imperativo ampliar el espectro tecnológico evaluado por las políticas públicas. La experiencia internacional y los avances tecnológicos recientes han consolidado a la bomba de calor como una de las soluciones más prometedoras para climatización residencial sostenible. Esta tecnología permite calefaccionar utilizando una fracción de la energía que requieren los sistemas convencionales, gracias a su capacidad de transferir calor desde el ambiente exterior hacia el interior de la vivienda.

En contextos como el del Gran Concepción —con un clima relativamente templado en comparación con zonas de latitudes más extremas—, la bomba de calor presenta un alto rendimiento, incluso en temperaturas cercanas a 0 °C. Además, su operación es completamente eléctrica, lo que permite su integración con matrices energéticas más limpias, como las que se proyectan en el marco de la transición energética nacional.

La posibilidad de reducir significativamente las emisiones de MP2.5 al eliminar la combustión en el punto de uso convierte a esta tecnología en una opción estratégica para complementar o incluso reemplazar las alternativas actualmente priorizadas por el PPDA.

Introducción preliminar a la bomba de calor como solución estructural

La bomba de calor no solo representa una mejora técnica desde el punto de vista del rendimiento energético, sino que también ofrece beneficios en términos de salud pública, sustentabilidad ambiental y eficiencia económica en el largo plazo. Su uso masivo podría contribuir a reducir la presión sobre el sistema de salud causada por enfermedades respiratorias derivadas de la contaminación, mejorar la calidad del aire en zonas urbanas críticas y disminuir la dependencia de combustibles contaminantes.

En los capítulos siguientes, se abordará en detalle esta tecnología, evaluando su desempeño comparativo frente a las alternativas actualmente incluidas en el PPDA, sus costos de inversión y operación, y su viabilidad de implementación tanto en viviendas sociales como privadas. Este análisis permitirá sustentar técnica y económicamente la incorporación de la bomba de calor como una solución estructural y transversal para avanzar hacia un sistema de calefacción residencial más limpio, eficiente y resiliente.

1.8 Análisis causa-efecto de la problemática

Para comprender de manera estructurada las múltiples causas que generan altos niveles de contaminación por material particulado fino (MP2.5) en el Gran Concepción, se recurre al Diagrama de Ishikawa o diagrama de causa-efecto. Esta herramienta nos permitirá visualizar cómo distintos factores interrelacionados de carácter técnico, social, económico y regulatorio confluyen en el problema ambiental que afecta a la calidad del aire en la zona.

El diagrama elaborado identifica seis grandes categorías causales:

Tecnología de calefacción contaminante: Predominio de estufas a leña de bajo rendimiento, uso de leña húmeda, y tecnologías que generan emisiones directas en el punto de uso.

Condiciones habitacionales deficientes: Inadecuada aislación térmica, viviendas antiguas, pérdidas de calor y sobreuso de calefacción.

Factores socioeconómicos: Alta percepción de bajo costo de la leña, mercado informal, baja capacidad de inversión en alternativas limpias, inequidad en acceso a subsidios.

Factores culturales y de comportamiento: Arraigo del uso de la leña, hábitos difíciles de modificar, resistencia al cambio tecnológico.

Fallas institucionales y normativas: Lentitud en implementación de recambios, limitada fiscalización, normativas térmicas insuficientes o desactualizadas.

Factores ambientales y climáticos: Inversión térmica, escasa ventilación atmosférica, estaciones frías y húmedas que favorecen la concentración de contaminantes.

Estas causas se potencian mutuamente, agravando la frecuencia e intensidad de los episodios críticos durante los meses de otoño e invierno.

Interpretación de las causas estructurales y su interrelación

El análisis del Diagrama de Ishikawa evidencia que la contaminación atmosférica no es atribuible a una causa aislada, sino al entrecruzamiento de múltiples factores estructurales. La persistencia del uso de leña no solo responde a razones económicas o tecnológicas, sino también a condicionantes culturales y estructurales del parque habitacional.

Además, las soluciones aplicadas hasta ahora han abordado parcialmente las causas —por ejemplo, reemplazando calefactores sin mejorar la aislación térmica o sin regular efectivamente la calidad de la leña disponible—, lo que limita el impacto de las políticas públicas. Por tanto, se requiere una visión sistémica que incorpore nuevas alternativas tecnológicas capaces de reducir emisiones, disminuir costos operacionales y adaptarse a las condiciones reales del entorno urbano y social.

Urgencia del cambio tecnológico

El diagnóstico realizado en este primer capítulo revela una problemática compleja, multifactorial y urgente. La contaminación por MP2.5 en el Gran Concepción no solo constituye un riesgo sanitario relevante, sino que también refleja una deuda estructural en términos de equidad energética, planificación urbana y modernización tecnológica.

En este contexto, resulta indispensable avanzar hacia soluciones integrales que no se limiten al recambio puntual de equipos, sino que promuevan un cambio estructural en la forma de calefaccionar las viviendas. La bomba de calor surge como una alternativa técnica madura, eficiente y ambientalmente sustentable que puede desempeñar un rol estratégico en la superación de esta crisis.

Los próximos capítulos se enfocarán en la evaluación comparativa de esta tecnología respecto de las soluciones actualmente reconocidas por el PPDA, considerando aspectos normativos, técnicos y económicos, con el objetivo de sustentar su inclusión como medida prioritaria en futuras actualizaciones de la política pública de descontaminación.

1.9 Presentación del Diagrama de Ishikawa: Alta contaminación por MP2.5

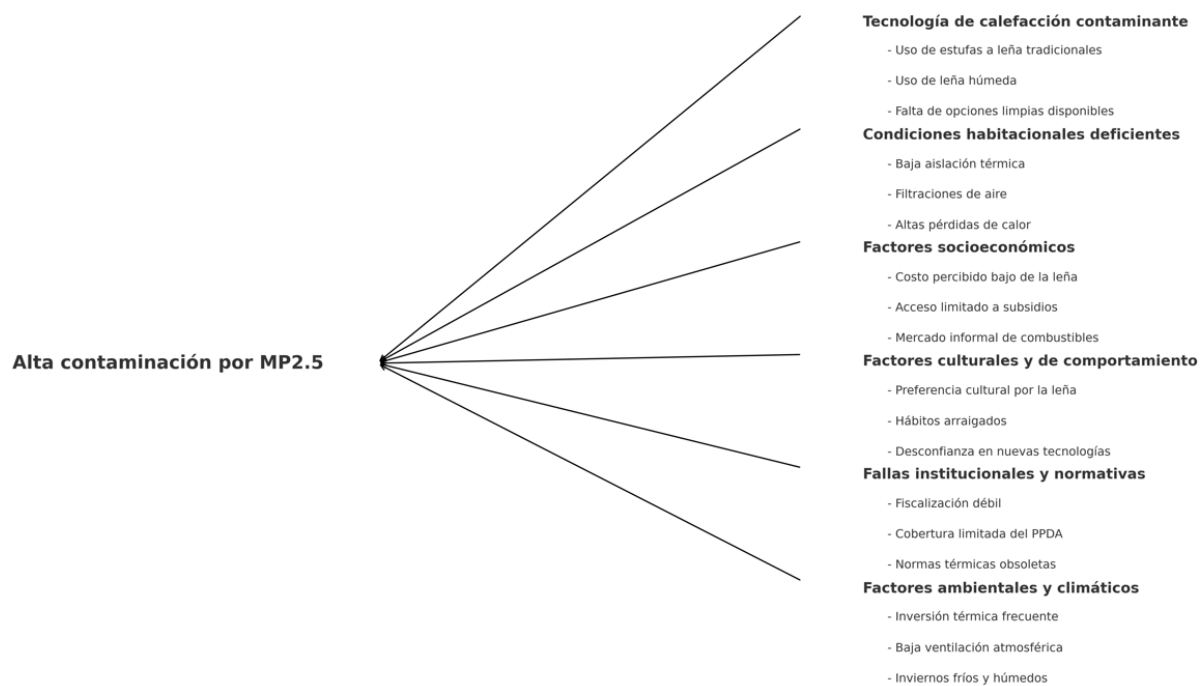


Figura 30: Diagrama de Ishikawa

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO 2: Evaluar el desempeño energético de la vivienda tipo seleccionada mediante la Calificación Energética de Viviendas (CEV), determinando su demanda térmica.

2.1 INTRODUCCION

El presente capítulo aborda la evaluación del desempeño energético de la vivienda tipo seleccionada como caso de estudio, emplazada en el Gran Concepción. Esta etapa es fundamental, ya que permite cuantificar con precisión la **demanda térmica** del inmueble y, a partir de ella, establecer un punto de referencia objetivo para la selección y dimensionamiento de tecnologías de calefacción.

La metodología aplicada se basa en la Calificación Energética de Viviendas (CEV), herramienta oficial utilizada en Chile para evaluar el comportamiento térmico y la eficiencia energética de edificaciones residenciales. Mediante este procedimiento, se consideran factores clave como materialidad, sistema constructivo, nivel de aislación térmica, orientación y condiciones climáticas locales.

Los resultados obtenidos no solo entregarán un diagnóstico del consumo energético esperado, sino que servirán como insumo técnico para las comparaciones posteriores entre diferentes sistemas de calefacción. De esta manera, el análisis garantizará que la evaluación de alternativas tecnológicas se realice sobre bases realistas y representativas del contexto local, asegurando su aplicabilidad al sector privado.

Finalmente, para realizar un análisis técnico riguroso y comparable entre distintas tecnologías de calefacción residencial, se definió como referencia una vivienda tipo unifamiliar perteneciente al proyecto habitacional "Valle de Elicura", ubicado en el Gran Concepción. Esta vivienda corresponde a un modelo de construcción estandarizado, representativo de un segmento relevante del parque habitacional reciente, lo que la convierte en un caso apropiado para simular escenarios térmicos, económicos y energéticos comparables.

En esta sección se detallan las características constructivas, térmicas y espaciales de la vivienda unifamiliar tipo que será utilizada como modelo base para la simulación y análisis comparativo del desempeño de los distintos sistemas de calefacción considerados en el estudio

2.2 Descripción de la vivienda tipo

- **Ubicación geográfica: comuna y zona climática del Gran Concepción.**

La vivienda tipo se encuentra emplazada en:

Comuna: Talcahuano

Sector: Lomas de San Sebastián.

Zona Climática: tipo C

Latitud Media: -37°

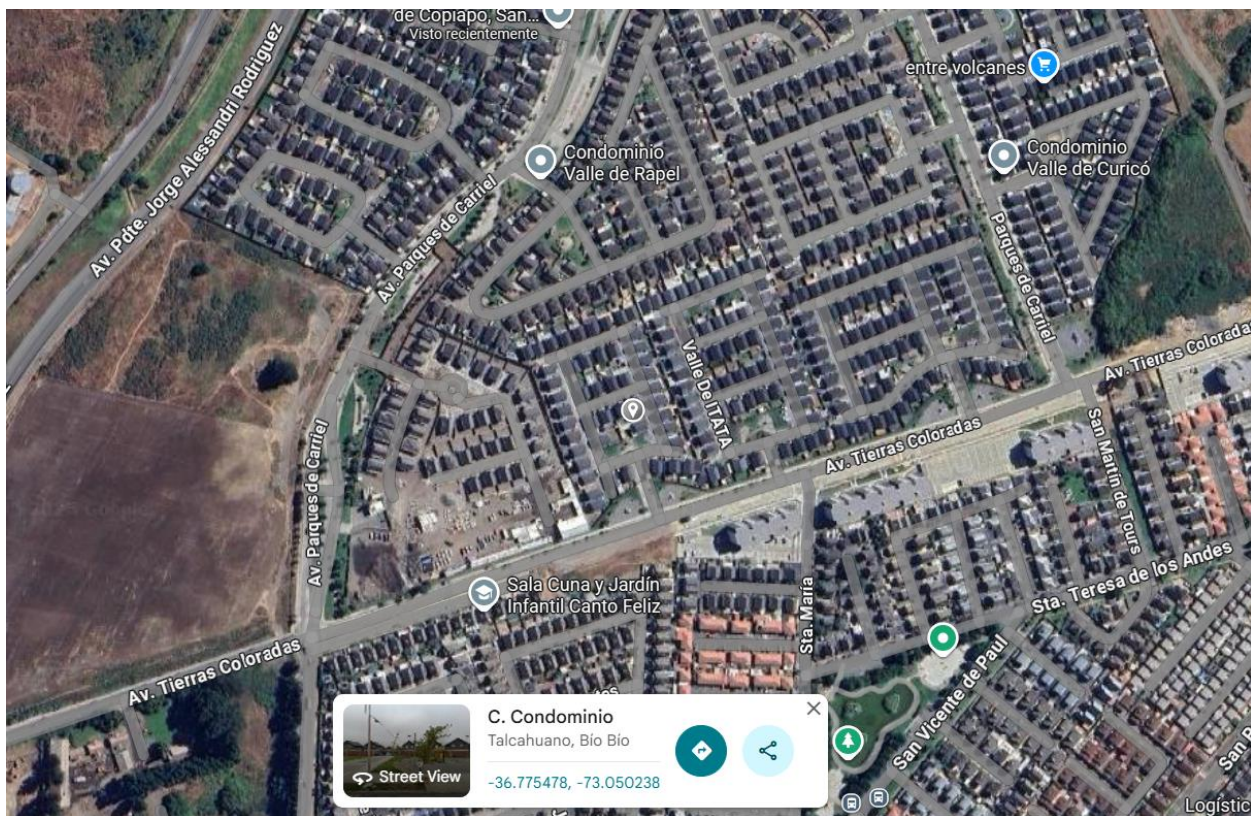


Figura 31: Georeferencia general vivienda tipo

Fuente: Elaboración propia

- Superficie total y distribución de espacios:

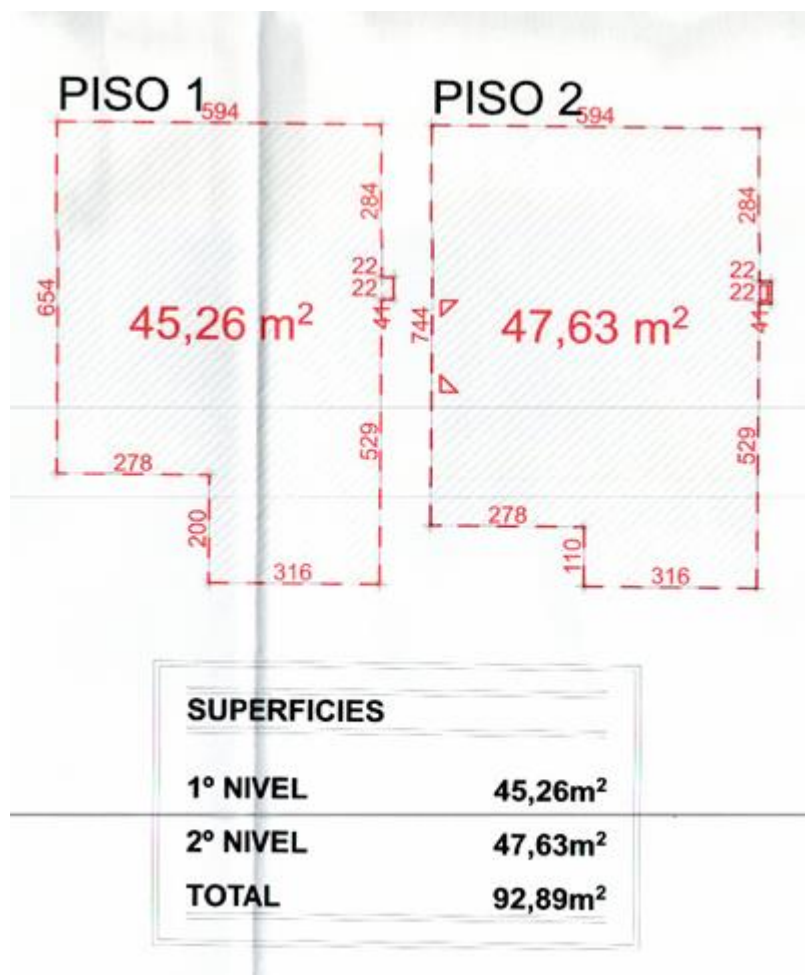


Figura 32: Planimetría de superficies aprobadas

Fuente: Inmobiliaria Aitue

- Materialidad y sistema constructivo + Nivel de aislación térmica y características de envolvente.

La caracterización técnica de la vivienda tipo constituye la base para cualquier análisis comparativo de sistemas de calefacción. Contar con especificaciones claras en cuanto a su materialidad, sistema constructivo y nivel de aislamiento permite dimensionar con precisión su demanda térmica y, en consecuencia, evaluar el desempeño real de cada tecnología. Esta etapa es clave para asegurar que la comparación técnica entre bomba de calor aerotérmica, aire acondicionado inverter y estufa a pellet se realice bajo condiciones homogéneas y representativas de la realidad del caso de estudio.

- Especificaciones Técnicas Vivienda Tipo

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS RESUMIDAS		
PROYECTO : CONDOMINIO VALLE DE CURICO, Etapa 13		29-sep.-22
LOTEO: SAN ANDRES DEL VALLE		
CARACTERÍSTICAS DE LAS VIVIENDAS		
	Descripción	Marca
PAVIMENTOS INTERIORES		
1	Hall de Acceso	Cerámica Element sand formato 40x40
2	Cocina	Cerámica Element sand formato 40x40
3	Baño visita	Cerámica Element sand formato 40x40
4	Baño en suite	Cerámica Element sand formato 40x40
5	Retorno 15 cm guardapolvo Baño Visita	Cerámica Element sand formato 40x40
6	Baño 2	Cerámica Element sand formato 40x40
7	Faldon de tina B.niños	Cerámico muro 30x45 blanco mate + frague blanco
8	Escalera	Porcelanto New Town Sand 45x90 8mm , Contra huella revestida en pino finger espesor 15 mm. Fijadas con pegamento y tornillos
9	Living comedor	Piso Laminado Liverpool Ivory 8.3 mm 1215x198 mm con bisel Cerámica Element sand formato 40x40
10	Dormitorios 2 y 3	Piso Laminado Liverpool Ivory 8.3 mm 1215x198 mm con bisel
11	Dormitorio Principal	Piso Laminado Liverpool Ivory 8.3 mm 1215x198 mm con bisel
12	Estar cocina	Cerámica Element sand formato 40x40
13	Aislación Hídrica	zonas húmedas segundo piso mortar plas y masterseal en piso + área tina impermeabilización de piso a cielo+ perímetro baño hasta h=1mt
		Cotexa BASF

- Especificaciones Técnicas Vivienda Tipo

REVESTIMIENTOS MUROS EXTERIORES

14	Revestimiento 1° piso Casa A	Muro H.A. Resistencia al fuego F-90, aplicación de hidrorrepelente con enlucido con pasticen, aparejo mismo color textura y acabado texturado con estuco elastomérico gris	
15	Revestimiento 1° piso Casa B	Muro H.A. Resistencia al fuego F-90, aplicación de hidrorrepelente con enlucido con pasticen, aparejo mismo color textura y acabado texturado con estuco elastomérico gris	
16	Revestimiento 2° piso casa A	Tabique tipo Metalcon (Resistencia al fuego F-30) incorpora aislación aislalnglass R100/94 50mm densidad 11 kg/m3 papel 1 cara + OSB 11mm + membrana hidrófuga 15lbs+ Fibrocemento Siding 190x3660x6mm con barniz acrílico Fibrolux color nogal	
17	Revestimiento 2° piso casa B	Tabique tipo Metalcon (Resistencia al fuego F-30) incorpora aislación aislalnglass R100/94 50mm densidad 11 kg/m3 papel 1 cara + OSB 11mm + membrana hidrófuga 15lbs+ Fibrocemento Siding 190x3660x6mm con barniz acrílico Fibrolux color nogal	

REVESTIMIENTOS MUROS INTERIORES

18	Living-Com-Dorm-Closet -Bodega (Muros Ext)	Yeso Poliestirero ST 30 mm + Papel Mural Cañamo White soft 280g Carpenter	
19	Living-Com-Dorm-Closet-Bodega (Tab Int)	Yeso cartón ST 12,5 mm + Papel Mural Cañamo White soft 280g Carpenter	
20	Cocina (Muros Ext)	Yeso Poliestirero RH 12,5 mm + cerámico muro 30x45 blanco mate+ frague blanco + pintura esmalte al agua espalda muebles y zona comedor de diario casa B	
21	Cocina (Tabiques Interiores)	Fibrocemento Ranurado 6 mm / cerámico muro 25x40 modelo Snow-N 6mm marca CHC + frague blanco	
22	Cocina	Zona sobre lavaplatos y encimera revestidos con cerámico muro 30x45 blanco mate + frague blanco. No se considera revestimiento en zonas bajo muebles aéreos ni de base	
23	Baño Suite y Baño 2 (Muros Exteriores)	Yeso Poliestirero RH 12,5 mm / cerámico muro 30x45 blanco mate + frague blanco/ agregar aislacion hdríca	
24	Baño Suite y Baño 2 (tabiques Interiores)	Fibrocemento Ranurado 6 mmcerámico muro 30x45 blanco mate + frague blanco	
25	Baño Visita (Muros Exteriores)	Yeso poliestireno RH 12,5mm/ Papel Mural Cañamo White soft 280g Carpenter (modelo B) pintura esmalte al agua (modelo A)	
26	Baño Visita (Tabiques interiores)	Yeso cartón ST 15 mm / Papel Mural Cañamo White soft 280g Carpenter pintura esmalte al agua	
27	Bodega (Muros Exteriores)	Yeso poliestireno RH 12,5mm/ Muros H.A. en interior pintados con látex blanco	sherwin williams
28	Bodega (Tabiques interiores)	Yeso poliestireno RH 12,5mm/ tabiques en interior pintados con látex blanco	sherwin williams
29	Closet	Muros tabique u H.A. en interior de closets pintados con látex blanco	sherwin williams

- Especificaciones Técnicas Vivienda Tipo

CIELOS

30	Living-Comedor-Hall acceso	Enlucido + Empastado + Latex 2 manos Color Blanco	sherwin williams
31	Dormitorio suite casa B	Enlucido + Empastado + Latex 2 manos Color Blanco	sherwin williams
32	Dormitorios-piso 2	Yeso cartón 10mm STD con fijación tornillos de volcánita + huincha americana+ empastado uniones +Latex 2 manos color Blanco	sherwin williams
33	Baños piso 1	Enlucido + Empastado + Latex 2 manos Color Blanco	sherwin williams
34	Baños piso 2	Yeso cartón 12.5mm RH con fijación tornillos de volcánita + huincha americana + empastado + Esmalte al agua 2 manos color blanco	sherwin williams
35	Cocina	Enlucido +empastado + Esmalte al agua 2 manos color blanco	sherwin williams
36	Cielos falso acceso	Solucion tipo EIF pintado con estuco elastomerico	

PUERTAS

37	Exterior Acceso Principal	Puerta acceso metálica 4,5x95x200 cm modelo Sinfonia	Masonite
38	Marco Puerta Acceso	Marco sólido de pino impregnado 90mm con bisagras 3 1/2".	
39	Exterior Cocina	Puerta de acero modelo sinfonia blanca de 80x200 con celosía, Considera marco de pino sólido impregnado 30x90x210 con bisagras 3 1/2". Pintada color café.	
40	Puerta Interior	Puerta MDF 40 mm prep.blanca modelo lucero	Masonite

41	Marco Puertas	Casa Tipo A Marco de pino finger -Cocina: marco 130mm -Puerta Logia: marco 90mm -Baño Visita: marco 100mm -Dormitorios: marco 100mm -Baños 2do Piso: marco 110mm y bisagras 3" cromo satín. Casa Tipo B Marco de pino finger Cocina: marco 100mm -Puerta Logia: marco 90mm -Baño Visita: marco 130mm -Bodega: marco 100mm -Dormitorios: marco 100mm -Baños 2do piso: marco 110mm -W. Closet: marco 100mm. bisagras 3" cromo satín.	
----	---------------	--	--

- Especificaciones Técnicas Vivienda Tipo

VENTANAS

42	Ventanas en Muro	Aluminio anodizado color Titanio Línea Aluminio tradicional con perfilería 20-25-32.	
43	Ventana en Techo	No considera	
44	Cristal	Se debe considerar ventanas termopanel e=4mm todas menos las de las Cocina (en el caso del modelo itata) y baños. Par el caso del modelo Maipo, que considera cocina con estar, se debe considerar toda la cocina con termopanel.	
45	Espejos	No considera	

MOLDURAS

46	Cornisas	Moldura poliestireno B 5 modelo nomastyl, en closet no lleva Moldura EPS Extruido DECOART 706 de 50x50mm	Nmc Decoart
47	Pilastras	Sólo en zona perimetral gatera	
48	TC 100	moldura MDF TC 100 , sólo en terminación cielo escala	Moldufinger
49	Pasamanos	Pasamanos escala en madera pino finger 2x5".	Moldufinger
50	Junquillos	Junquillo MDF 15x15x2400mm/ óleo semibrillo	

- Especificaciones Técnicas Vivienda Tipo

51	Guardapolvos y junquillo en Escala	N/A	
52	Guardapolvos en Piso Laminado	Guardapolvo MDF foliado blanco modelo Modena	Mafora
53	Guardapolvos en cerámico	Guardapolvo MDF foliado blanco modelo Modena	Mafora
54	Cubre junta piso flotante	Cubre junta SPC (plastica) Nottingham Ivory 2400x45x6mm	Ivory

CERRADURAS

55	Tirador Puerta Exterior	Tirador de puerta acceso 30cm	Isalock
56	Cerradura Puerta Acceso	Cerradura acceso con bocallave y manilla	Isalock
57	Cerraduras Dormitorios	Cerradura modelo Pomo Lane llave/seguro	
58	Cerraduras Dorm. Suite	Cerradura modelo Pomo Lane llave/seguro	
59	Cerraduras Baños	Cerradura modelo Pomo Lane seguro	
60	Bisagras Acceso	Bisagra 3 1/2" mod. Steel línea 290 Cromo Satin	Ducasse
61	Bisagras Puertas Interiores	Bisagra 3" mod. Steel Cromo Satin	Ducasse
62	Topes de Puertas	Tope semi esfera	

ACCESORIOS DE BAÑOS

63	Portarrollo	Portarrollos con tapa zinc cromado. Modelo Least de Bath Co.	
64	Jabonera	No Aplica	
65	Toallero	Toallero Anilla D: 16 cm Zinc Cromado Modelo Least Marca Bath Co	
66	Barra Cortina Tina	Plástica con Soportes Plásticos, excepto baño suite y visita	
67	Gancho	Percha simple Zinc Cromado Modelo Least Marca Bath Co	Stretto
68	Celosis registro tina	Celosis Rectangular PVC 20x20 cm	

MUEBLES COCINA

69	Cubierta	postformado color silice 2119	
70	Puertas	Melamina masisa 18mm color vison M044 masisa + bisagra retén de 35mm	

- Especificaciones Técnicas Vivienda Tipo

71	Muebles y repisas	Melamina masisa 18mm color lino + rieles telescópicos	
72	Interior Muebles	Melamina 15 mm color blanco	
73	Tiradores	No considera	
74	Herrajes	incluidos	Ducasse

MUEBLES CLOSET

75	Puertas	Melamina masisa 18mm color vison M044 masisa + bisagra retén de 35mm	
76	Interior Muebles	Melamina 15 mm color blanco	
77	Tiradores y accesorios	incluidos	Ducasse

MUEBLES VANITORIO

78	Puertas	Modelo hermes lenga	Mosaico
79	Interior Muebles		
80	Tiradores		

ARTEFACTOS

81	Cocina	Lavaplatos E-60 1235.510 2B 1D se consideran todos los elementos para instalación y funcionamiento, griferías, sifones, conexiones, morteros, sellos, sistemas de fijación y soporte	TEKA
82	Cocina	Campana Urban 60	FDV
83	Cocina	Encimera a gas cristal 4G 2.0	FDV
84	Cocina	Horno modelo HBB 445	TEKA
85	Cocina	Calefón a gas natural DTS TFIS 14	Rheem
86	Baño suite	WC c/estanque desc.a muro modelo acros dual	Stretto
87	Baño suite	Tina 1,40 Con Antideslizante	Fanaloza
88	Baño suite	Vanitorio 60cms hermes lenga	Mosaico
89	Baño 2	WC c/estanque desc.a muro modelo acros dual	Stretto
90	Baño 2	Tina 1,40 Con Antideslizante	Fanaloza

- Especificaciones Técnicas Vivienda Tipo

91	Baño 2	Vanitorio 60cms hermes lenga blanco	Mosaico
92	Baño visita	WC modelo laguna descarga a piso/ lavamanos sin pedestal NEUBAD/ sifón cromado	

GRIFERIA

93	Lavaplatos	Monomando lavaplatos línea Arezzo	Stretto
94	Lavamanos	Monomando lavamanos Línea Genova	Stretto
95	Ducha tina	Monomando tina-ducha Línea Genova	Stretto
96	Lavadora	Llave Lavadora 075501 099 TROYA LL	Tebisa
97	WC	Llave Angular	

ACCESORIOS ELECTRICOS

98	Interruptores	S'nthesi S17	Marisio
99	Enchufes	S'nthesi S17	Marisio
100	Soquetes / lámparas interiores	Ecoline Blanco	
101	Lámparas exteriores	Apliqué exterior tortuga oval aluminio blanco IP44 sobrepuesto en perímetro	

TECHUMBRE

102	Estructura Techumbre	Metalcon según proyecto cálculo, Resistencia al fuego F-15 + aislación térmica Aislanglass 100 mm papel 1 cara+ yeso cartón ST 10mm, considera trazado de ejes, nivelación de piezas de entramado, control plomo de elementos verticales, alineación y montaje elementos secundarios	LP
103	Cubierta	Cubierta revestida con teja: [Teja andes largo continuo negro Inppa + Filtro Membrana Ultra Filtro Techo 40,3 m2/roll Transaco] con Caballete recto pre-pintado Andes 250x2.000	
104	Alero	Fibro cemento liso 1,2x2,4x6 mm + 1/2 Caña 1x1 finger / Oleo Opaco nogal	
105	Tapacanes	Hardisiding 190x8 mmx 3,66mt+ barniz acrílico color nogal	
106	Hojalateria	Zinc Alum 0,35 mm / Acuaquil Negro	
107	Ventilacion Bajo Alero	Ventilación de alero con celosía plástica de 30x30.	
108	Canales de aguas lluvias	Canales de aguas lluvias en PVC marron de 110 mm. No contempla pintura	hoffens

- Especificaciones Técnicas Vivienda Tipo

109	Bajadas de aguas lluvias	Bajadas de aguas lluvias en PVC tubular marron de 75 mm. No contempla pintura	hoffens
110	Piletas de aguas lluvias	pileta prefabricada sin dren	grau

OTROS

111	Red Sanitaria AP	Cañerías de Cobre tipo L en conexión exterior del medidor de AP (incluido los bastones de entrada y salida) el resto en Tuberías PPR al igual que el interior conforme a proyecto Asbuilt AP	
112	Tablero Electrico	Tablero embutido tapa blanca de 18 puestos modelo minipragma marca shneider (marisio)	
113	Red Sanitaria AP	Cañerías de Cobre tipo L en conexión exterior hasta el baston de bajada post medidor y Tuberías PPR en el resto del proy. AP	
114	Red Sanitaria AS	Tuberías PVC, para bajo nivel de terreno sobre capa arena 10 cms, CI pintadas con óleo opaco verde color pasto, en antejardines y áreas verdes en general.	
115	Canalizacion Alarma	N/A	
116	Red de Gas	considera gas natural con cañeria de cobre tipo L	
117	Numero Vivienda	Placa de acero inoxidable, grabada bajo relieve 14x10 sobre sintra negro	
118	Nombre Condominio	Letrero acceso madera 25x120x7 cms/ letras acero inox 18x1,7cms	
119	Perforacion Secadora	Perforación 4" a 10 cms. desde NPT +celosia plástica ambos lados 15x15 cms pintada color similar fachada e interior, ubicación según planta arquitectura	
120	Pasada Losa Tubo Calefactor	Ubicación conforme a plano	

OBRAS EXTERIORES

121	Cierro Lateral h=1,80 mt	Hardsiding 190x8 mmx 3,66mt / Estructura Acero / Pintura fibrolux color nogal	
122	Cierro Perimetro Patio	Pandereta h = 2,00 mt	
123	Reja Antejardin/casas exteriores	cierre metalico 1,8 mt (variabe según altura panderetas) /anticorrosivo/esmalte negro	
124	Huella Peatonal y Vehicular	Hormigón in situ, según dimensiones accesibilidad universal para acceso peatonal	
125	Pasto yAntejardin	Según Proyecto paisajismo	
126	Riego Pasto	Canalizacion en PVC hidraulico con aspersores ultra ajustables	

127	Radier de Acceso	Hormigón afinado según accesibilidad universal	
128	Grada Cocina-patio	No Aplica	

Figura 33: Especificaciones Técnicas

Fuente: Inmobiliaria Aitue

- La incorporación de la planimetría de la vivienda tipo permite contextualizar de manera visual y técnica las condiciones constructivas del caso de estudio. Esta información no solo entrega las dimensiones y distribución de los espacios, sino que también facilita la estimación precisa de pérdidas térmicas, optimizando así la evaluación del comportamiento de los distintos sistemas de calefacción. Con una base gráfica clara, la posterior comparación técnica se realiza sobre un escenario realista y verificable.

Fuente: Inmobiliaria Aitue

Plano de Emplazamiento



Figura 35: Plano de emplazamiento proyecto Valle de Elicura

Fuente: Inmobiliaria Aitue

Plano de planta de cubierta:

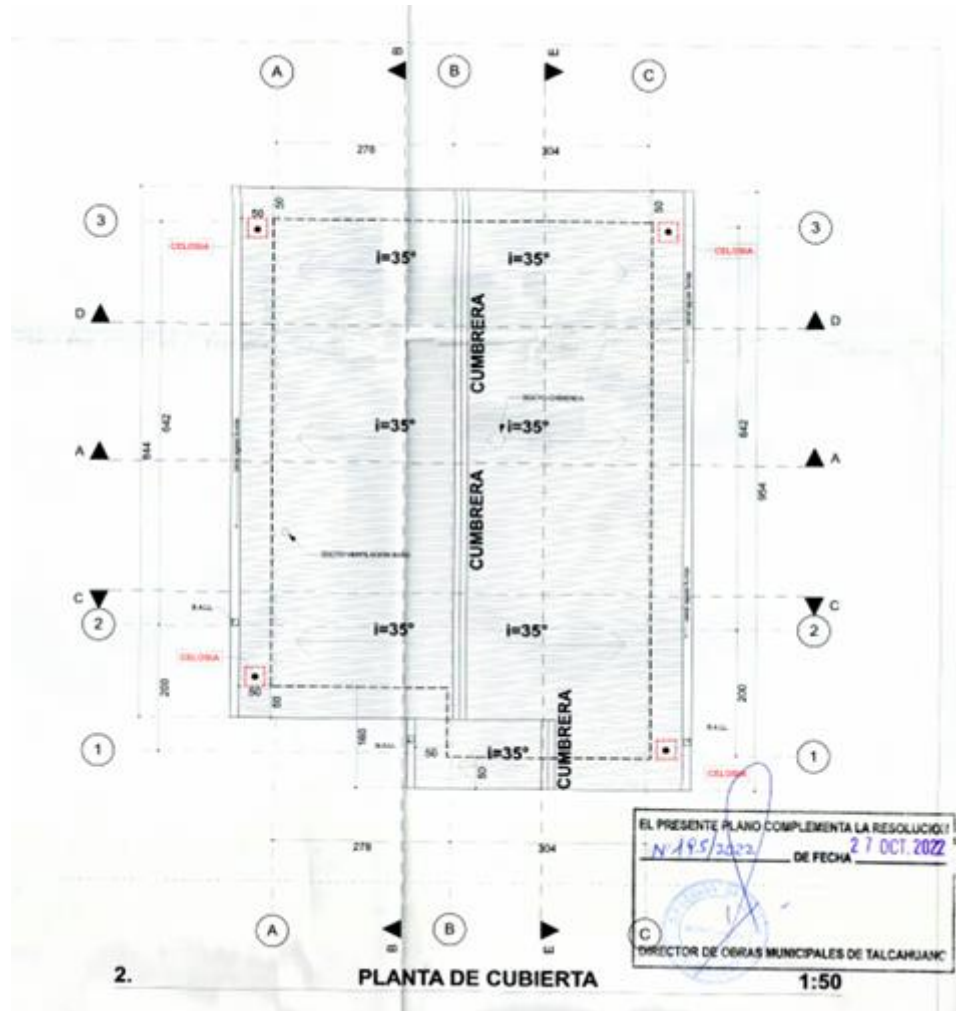


Figura 36: Plano de planta de cubierta

Fuente: Inmobiliaria Aitue

Plano de arquitectura planta piso 1:

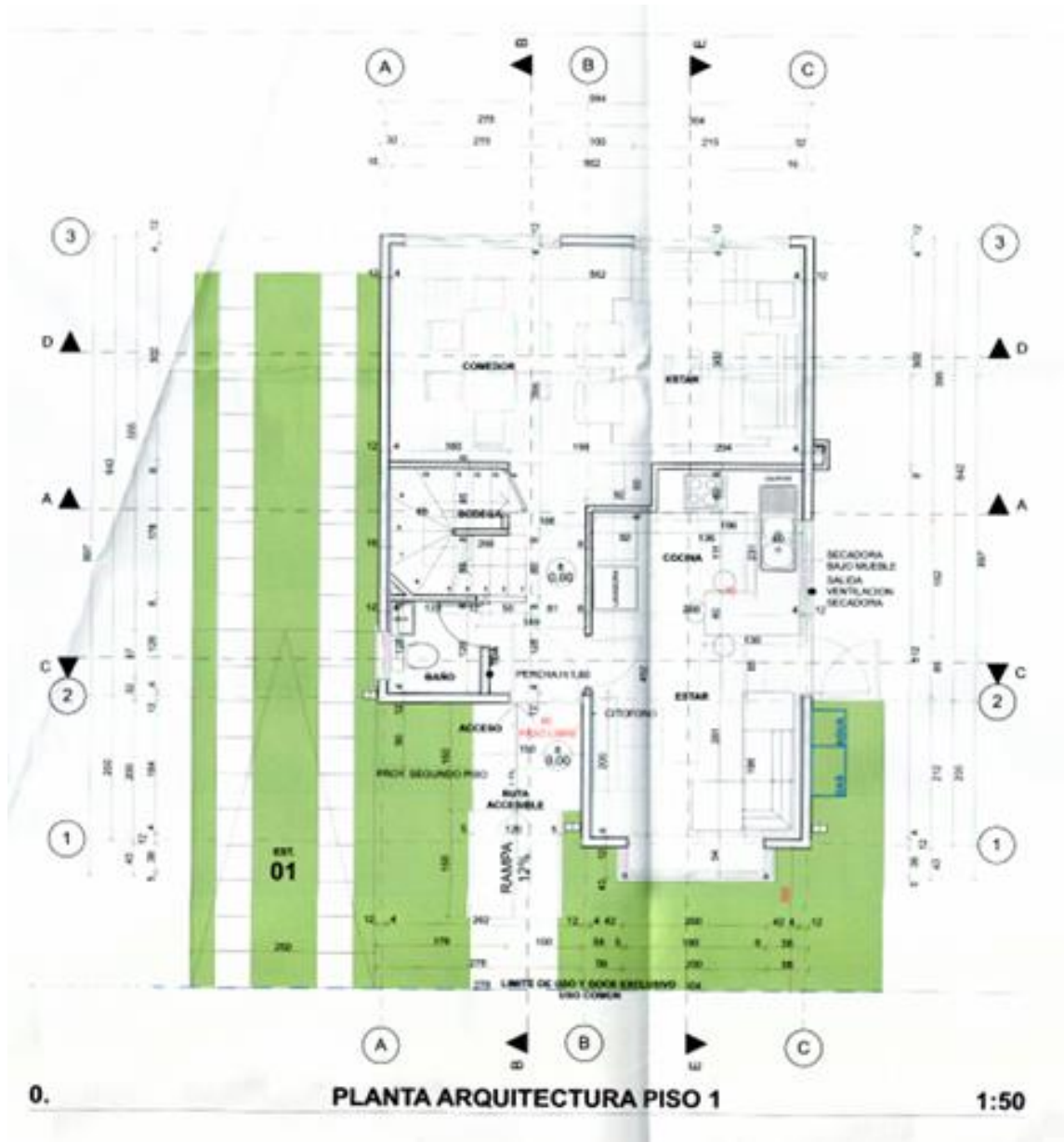


Figura 37: Plano de planta de arquitectura piso 1

Fuente: Inmobiliaria Aitue

Plano de arquitectura planta piso 2:

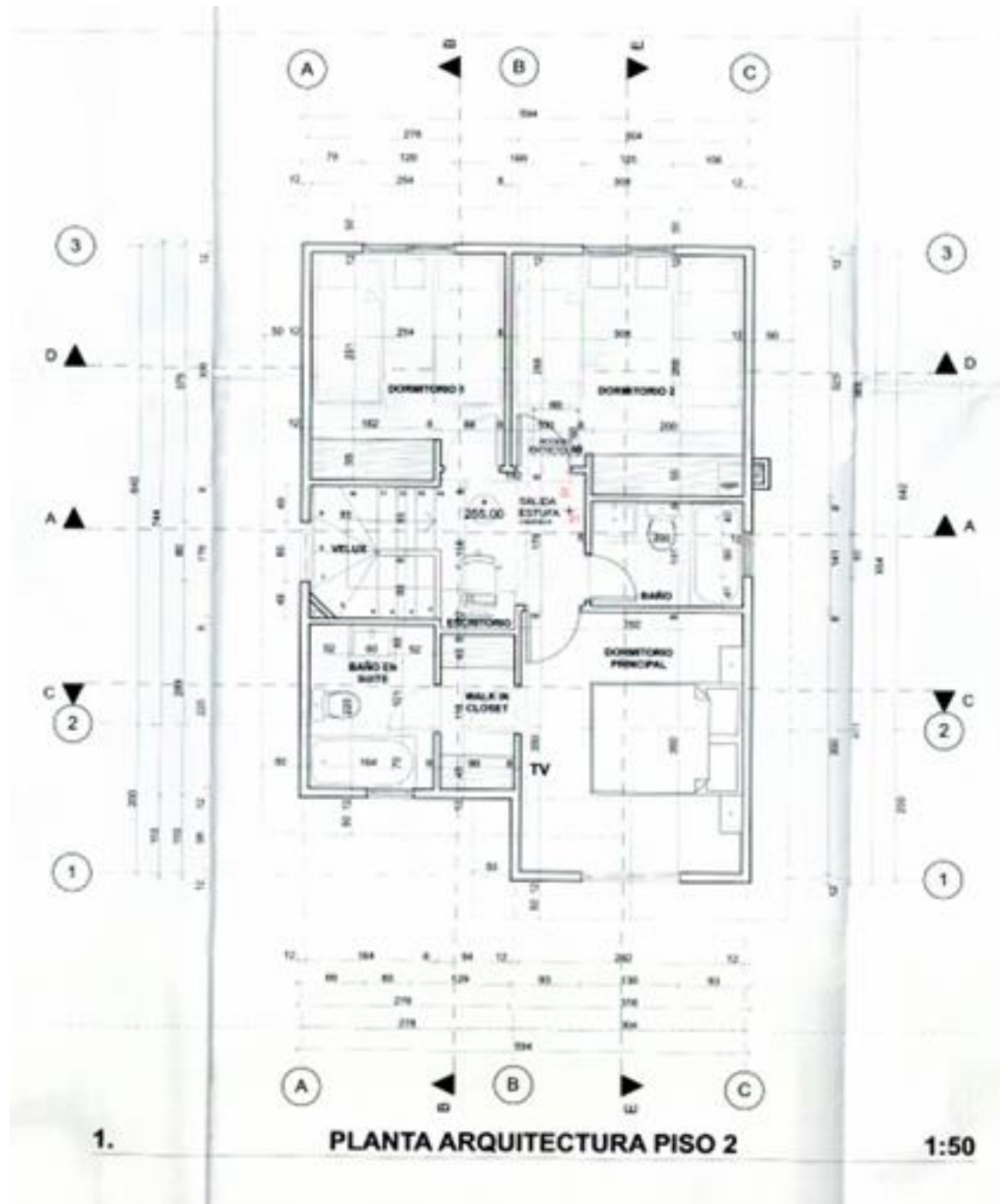


Figura 38: Plano de planta de arquitectura piso 2

Fuente: Inmobiliaria Aitue

Plano de elevación frontal:



Figura 39: Plano de elevación frontal

Fuente: Inmobiliaria Aitue

Plano de elevación posterior:



Figura 40: Plano de elevación posterior

Fuente: Inmobiliaria Aitue

Plano de elevación lateral derecha:



Figura 41: Plano de elevación lateral derecho

Fuente: Inmobiliaria Aitue

Plano de elevación lateral izquierda:



Figura 42: Plano de elevación lateral izquierdo

Fuente: Inmobiliaria Aitue

2.3 Metodología de evaluación para vivienda caso estudio.

- Herramienta utilizada: Calificación Energética de Viviendas (CEV).

La Calificación Energética de Viviendas en Chile (CEV) es un instrumento diseñado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, en conjunto con el Ministerio Energía, que inició su funcionamiento el año 2012 y que hoy presenta características mejoradas y actualizadas. Desde entonces se aplica voluntariamente para calificar y evaluar objetiva y estandarizadamente proyectos de vivienda, respecto de sus requerimientos de energía para calefacción, agua caliente sanitaria e iluminación y, a partir de la presente versión, también el requerimiento de energía para enfriamiento; esto, con el fin de entregar información objetiva tanto a usuarios que proyectan la compra de una vivienda, como a los mandantes de los proyectos. Para realizar la evaluación se consideran aspectos como transmitancia térmica de la envolvente (es decir, techo, muros exteriores, pisos, ventanas y puertas), inercia térmica, orientación de la vivienda, puentes térmicos de la envolvente, nivel de infiltraciones y tipo de ventilación. Todos estos elementos son evaluados y comparados con una vivienda de referencia que cumple con el estándar mínimo establecido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción mediante las pautas contenidas en el presente Manual de Procedimientos de la Calificación Energética de Viviendas en Chile (CEV). En cuanto al consumo energético de la vivienda, éste se incluye en el informe de evaluación y considera aspectos como el desempeño de los equipos (para calefacción, agua caliente sanitaria, iluminación y ventilación) y la incorporación de energías renovables no convencionales generadas en la vivienda o en el conjunto de viviendas. El presente documento corresponde a la quinta versión del manual de procedimientos y contiene las directrices técnicas, procedimentales y de gestión necesarias para realizar calificaciones energéticas de viviendas nuevas y existentes mediante la herramienta CEV. El uso de este manual es imprescindible para realizar, de modo correcto, calificaciones energéticas mediante el sistema CEV y necesario para que los profesionales que intervienen en la construcción de proyectos de viviendas, se familiaricen con el sistema y sus procedimientos.

- Resultados del cálculo de la Calificación energética de la vivienda (CEV) para la vivienda tipo caso estudio.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA EN VIVIENDAS EN CHILE

1.- Características de la vivienda

1.1.- Datos generales e identificación del proyecto

1	Ubicación del proyecto	Zona E
2	Comuna	Talcahuano
3	Rol vivienda	

1.2.- Datos provenientes del cálculo de la demanda

4	Superficie de la vivienda	89,24	[m ²]	
5	Volumen de la vivienda	205,25	[m ³]	
6	Área ventanas	14,40	[m ²]	
7	Potencia referencial del sistema de calefacción	10,0	[kW]	Potencia efectiva [kW]
8	Demanda de calefacción	Edificio Objeto 4.807	Referencia 7.643	(kWh/año)

2.- Definición de los equipos y sistemas

2.1.- Descripción general de los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria

9	Sistema de calefacción	No posee
10	Sistema de agua caliente	Calefont 7 litros tiro forzado

2.2.- Demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

11	Demanda de ACS	2.406	2.406	(kWh/año)
----	----------------	-------	-------	-----------

2.3.- Demanda de iluminación

12	Demanda de iluminación	188	188	(kWh/año)
----	------------------------	-----	-----	-----------

2.4.- Sistema de calefacción

	Tipo de energético utilizado en el sistema de calefacción		
13	Gas licuado		
	Identificación del equipo principal de calefacción	Por defecto	Propuesto
14	Sistema por defecto: No se dispone de sistema de calefacción	0,45 (-)	
15	☒ Indicar si la vivienda posee mas de un sistema de calefacción		
	Sistema de distribución		
15	Sistema unitario autocalentado	1,00	

- Resultados del cálculo de la Calificación energética de la vivienda (CEV) para la vivienda tipo caso estudio.

2.5.- Sistema de agua caliente sanitaria				
Tipo de energético a utilizar				
18	Garfiteada			
Rendimiento de generación				
19	Sistema por defecto - No se dispone de sistema de ACS	Por defecto	Propuesto	
		0,70 (-)		(-)
Corrección por distribución				
20	Red de cañerías en aislación	0,90		
Cálculo de la corrección por estanque de almacenamiento para ACS				
¿Tiene estanque de almacenamiento?				
21	No hay estanque de almacenamiento o tiene el sistema por defecto			
22	Volumen de estanque de almacenamiento (litros)		(l)	
23	Espesor de la aislación del estanque (mm)		(mm)	
24	Conductividad térmica del material de aislación (W/mK)		(W / m K)	
Ubicación del estanque de almacenamiento				
25	Local acondicionada			
Pérdidas totales				
				(kWh/año)
Corrección por estanque de almacenamiento				
26			Propuesto	(kWh/año)
Rendimiento del sistema completo				
27		0,63 (-)		
2.6.- Sistema de iluminación				
El cálculo se realiza en base a valores por defecto				
2.7.- Consumo de energía en ventiladores				
28	Potencia de los ventiladores involucrados en el sistema de ventilación sin incluir recuperador de calor (si existe)	Por defecto	Propuesta	
		(W)		(W)
29	Potencia de los ventiladores del recuperador de calor (si existe)	Por defecto	Propuesta	
		(W)		(W)
Resultados				
30	Consumo de energía en los ventiladores	Por defecto	Propuesta	
		(kWh/año)		(kWh/año)
31	Valor a usar para el consumo de energía en los ventiladores			(kWh/año)

- Resultados del cálculo de la Calificación energética de la vivienda (CEV) para la vivienda tipo caso estudio.

2.8.- Sistemas de captación de energías renovables no convencionales									
Sistema solar para aporte en calefacción y agua caliente sanitaria									
32	¿Dispone de un sistema de colectores solares - térmicos? Ha								
33	Tipo de colector: Plano								
34	Tipo de servicio: Solo ACS								
35	Superficie total de colectores solares (bruta) (m ²)								
36	Ángulo de inclinación de los colectores (grados)								
37	Ángulo de azimut de los colectores (grados)								
38	Factor de corrección por obstrucciones 2 (-)								
Propiedades del colector									
39	Rendimiento óptico del colector Por defecto A modificar A usar								
40	Coeficiente de pérdidas térmicas 								
41	Relación Área Neta / Área Bruta 								
Pérdidas por distribución para circuitos extendidos									
42	Calor aportado por el sistema solar antes de la corrección por pérdidas adicionales en cañerías (kWh/año)								
43	Espesor de aislación de las cañerías 35 (mm)								
44	Distancia entre la placa mas alejada y el estanque solar 4,0 (m)								
45	Distancia entre el estanque solar y el primer punto de consumo 4,0 (m)								
46	Factor de corrección por pérdidas de las cañerías Por defecto Propuesto								
47	Factor de corrección a usar 								
Resultados									
48	Porcentaje de aporte solar al ACS (%)								
49	Porcentaje de aporte solar a la calefacción (%)								
Sistema fotovoltaico para aporte de consumo en vivienda									
50	¿Dispone de un sistema de paneles fotovoltaicos para generar electricidad? Ha								
51	☒ ¿El sistema está conectado a la red?								
52	Potencia nominal total de los captadores solares (W)								
53	Ángulo de inclinación de los paneles (grados)								
54	Ángulo de azimut de los paneles (grados)								
55	Corrección por elementos de sombra (-)								
56	Eficiencia nominal de inversor (-) Propuesto								
57	Aporte solar fotovoltaico 1.913 (kWh/año)								

- Resultados del cálculo de la Calificación energética de la vivienda (CEV) para la vivienda tipo caso estudio.

3.- Resultados del consumo de energía de la vivienda				
Todos los resultados están en energía primaria				
58	Aporte de energía solar térmica a la calefacción		(kWh/año)	
59	Aporte de energía solar térmica al agua caliente sanitaria		(kWh/año)	
Consumos sin incluir fotovoltaicos				
60	Consumo de energía primaria en calefacción	11.751	(kWh/año)	
61	Consumo de energía primaria en agua caliente sanitaria	4.202	(kWh/año)	
62	Consumo de energía primaria en iluminación	356	(kWh/año)	
63	Consumo de energía primaria en ventiladores		(kWh/año)	
64	Generación de energía primaria en fotovoltaicos		(kWh/año)	
65	Aporte de energía solar fotovoltaica a consumos básicos		(kWh/año)	
66	Aporte de energía solar fotovoltaica a consumo de electrodomésticos		(kWh/año)	
Balance general de energía				
67	Total consumo de energía primaria antes de fotovoltaicos	16.303	(kWh/año)	
68	Aporte de fotovoltaicos a consumos básicos		(kWh/año)	
69	Consumos básicos a suplir con energía externa	16.303	(kWh/año)	
Resumen de consumos finales de referencia y objeto				
70	Consumo total de energía primaria	16.303	(kWh/año)	
71	Consumo de energía de referencia	22.821	(kWh/año)	
72	Coefficiente energético : C	0,71		Ahorro 28,5%
73	Aporte fotovoltaico al consumo de electrodomésticos		(kWh/año)	Porcentaje del consumo medio

Figura 43: Hoja CEV CEVE 03.PBTD_datos de equipos y resultados

Fuente: Herramientas de Cálculo de la Calificación Energética de Viviendas (MINVU)

- Resultados del cálculo de la Calificación energética de la vivienda (CEV) para la vivienda tipo caso estudio.

Demanda

Caso	Demanda Calefacción [kWh-año]	Demanda Refrigeración [kWh-año]	Demanda Calefacción [kWh/m2-año]	Demanda Refrigeración [kWh/m2-año]	% ahorro Demanda Calefacción	% ahorro Demanda Refrigeración	Demanda Total [kWh/m2-año]	% Ahorro Total [kWh/m2-año]	Letras
Caso Base Oficial	1.643,3	1.822,3	85,6	20,4	no aplica	no aplica	106,07	32%	D
Caso Propuesto	4.807,4	1.656,7	53,9	18,6	37%	9%	72,4		

Caso (con un máximo de 24hrs x 12 meses) Total = 288hrs	Horas Discomfort frío HD (-)	Horas Discomfort calor HD	Tiempo en Discomfort total HD (-)	Tiempo en Discomfort del total HD (+)
Caso Base	138,8	56,0	48%	19%
Caso Propuesto	133,0	66,0	46%	23%

NOTA:

HD(+): Horas de discomfort sobre la banda de confort.

HD(-): Horas de discomfort bajo la banda de confort.

Consumo

Aporte de energía solar térmica a la calefacción	-	[kWh-año]	-	[kWh/m2 -año]
Aporte de energía solar térmica al agua caliente sanitaria	-	[kWh-año]	-	[kWh/m2 -año]

Consumos sin incluir fotovoltaicos				
Consumo de energía primaria en calefacción	11.751,44	[kWh-año]	131,68	[kWh/m2 -año]
Consumo de energía primaria en agua caliente sanitaria	4.201,73	[kWh-año]	47,08	[kWh/m2 -año]
Consumo de energía primaria en iluminación	356,32	[kWh-año]	3,99	[kWh/m2 -año]
Consumo de energía primaria en ventiladores	-	[kWh-año]	-	[kWh/m2 -año]

Generación de energía primaria en fotovoltaicos	-	[kWh-año]	-	[kWh/m2 -año]
Aporte de energía solar fotovoltaica a consumos básicos	-	[kWh-año]	-	[kWh/m2 -año]
Aporte de energía solar fotovoltaica a consumo de electrodoméstico	-	[kWh-año]	-	[kWh/m2 -año]

Balance general de energía				
Total consumo de energía primaria antes de fotovoltaicos	16.309,49	[kWh-año]	182,76	[kWh/m2 -año]
Aporte de fotovoltaicos a consumos básicos	-	[kWh-año]	-	[kWh/m2 -año]
Consumos básicos a suplir con energía externa	16.309,49	[kWh-año]	182,76	[kWh/m2 -año]
Resumen de consumos finales de referencia y objeto				
Consumo total de energía primaria	16.309,49	[kWh-año]	182,76	[kWh/m2 -año]
Consumo de energía de referencia	22.821,48	[kWh-año]	255,73	[kWh/m2 -año]
Coefficiente energético : C	0,71			

Ahorro 0,29

Aporte fotovoltaico al consumo de electrodomésticos	-	[kWh-año]	Porcentaje del consumo medio	-
---	---	-----------	------------------------------	---

- Resultados del cálculo de la Calificación energética de la vivienda (CEV) para la vivienda tipo caso estudio.

Caso		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Demanda Calefacción [kW]	Calefacción - Vivienda	-	-	4,7	364,1	628,3	311,4	1.280,2	861,2	518,4	233,0	-	-	4.807,4
	Calefacción - Base	-	0,1	46,8	643,7	363,6	1.359,7	1.873,3	1.318,9	870,1	548,5	12,6	-	7.643,3
Demanda Refrigeración [kW]	Refrigeración - Vivienda	- 448,2	- 239,6	- 38,4	-	-	-	-	-	-	- 113,1	- 277,6	- 413,8	- 1.656,7
	Refrigeración - Base	- 452,7	- 300,3	- 134,8	- 44,4	-	-	-	-	- 10,1	- 277,5	- 261,8	- 400,6	- 1.822,3
HD (+) [hrs]	Enfriamiento: HD(-) - Vivienda	-	-	-	12,0	24,0	24,0	24,0	24,0	18,0	7,0	-	-	133,0
	Enfriamiento: HD(-) - Base	-	-	1,8	14,3	23,8	24,0	24,0	23,3	17,5	10,3	-	-	138,8
HD (-) [hrs]	Sobrecalentamiento: HD(+) - Vivienda	15,0	14,0	8,0	-	-	-	-	-	-	2,0	12,0	15,0	66,0
	Sobrecalentamiento: HD(+) - Base	12,8	11,5	6,0	-	-	-	-	-	-	3,3	10,0	12,5	56,0

Demanda Calefacción [kW]	Caso Propuesto Con Clima	-	-	4,7	364,1	628,3	311,4	1.280,2	861,2	518,4	233,0	-	-	4.807,4
	Caso Base 0° Con Clima	-	-	43,9	643,6	378,7	1.373,1	1.885,4	1.335,2	881,5	544,8	3,1	-	7.635,3
	Caso Base 30° Con Clima	-	0,1	51,9	655,3	390,0	1.381,8	1.900,7	1.348,0	886,6	562,7	13,2	-	7.730,3
	Caso Base 180° Con Clima	-	0,1	51,6	659,5	397,0	1.389,1	1.912,8	1.352,2	893,8	557,7	13,5	-	7.827,1
	Caso Base 270° Con Clima	-	0,3	33,9	616,2	312,3	1.295,0	1.794,2	1.240,1	818,7	528,6	14,5	-	7.260,4
Demanda Refrigeración [kW]	Caso Propuesto Con Clima	- 448,2	- 239,6	- 38,4	-	-	-	-	-	-	- 113,1	- 277,6	- 413,8	- 1.656,7
	Caso Base 0° Con Clima	- 492,2	- 316,8	- 114,3	- 18,7	-	-	-	-	-	- 204,9	- 286,7	- 445,6	- 1.873,1
	Caso Base 30° Con Clima	- 366,1	- 219,4	- 68,4	- 10,8	-	-	-	-	-	- 157,6	- 178,1	- 319,4	- 1.319,8
	Caso Base 180° Con Clima	- 464,7	- 280,3	- 38,1	- 3,6	-	-	-	-	-	- 195,4	- 258,5	- 412,8	- 1.719,4
	Caso Base 270° Con Clima	- 487,9	- 384,7	- 258,5	- 138,5	-	-	-	-	- 40,2	- 312,2	- 323,9	- 424,8	- 2.370,8
HD (-) [hrs]	Caso Propuesto Sin Clima	-	-	-	12,0	24,0	24,0	24,0	24,0	18,0	7,0	-	-	133,0
	Caso Base 0° Sin Clima	-	-	2,0	14,0	24,0	24,0	24,0	24,0	18,0	10,0	-	-	140,0
	Caso Base 30° Sin Clima	-	-	2,0	15,0	24,0	24,0	24,0	24,0	18,0	11,0	-	-	142,0
	Caso Base 180° Sin Clima	-	-	2,0	16,0	24,0	24,0	24,0	24,0	18,0	10,0	-	-	142,0
	Caso Base 270° Sin Clima	-	-	1,0	12,0	23,0	24,0	24,0	21,0	16,0	10,0	-	-	131,0
HD (+) [hrs]	Caso Propuesto Sin Clima	15,0	14,0	8,0	-	-	-	-	-	-	2,0	12,0	15,0	66,0
	Caso Base 0° Sin Clima	13,0	12,0	6,0	-	-	-	-	-	-	4,0	11,0	13,0	59,0
	Caso Base 30° Sin Clima	12,0	10,0	4,0	-	-	-	-	-	-	2,0	9,0	12,0	43,0
	Caso Base 180° Sin Clima	13,0	12,0	5,0	-	-	-	-	-	-	3,0	10,0	13,0	56,0
	Caso Base 270° Sin Clima	13,0	12,0	3,0	-	-	-	-	-	-	4,0	10,0	12,0	60,0

Figura 44: Hoja Resumen 03.PBTD_datos de equipos y resultados

Fuente: Herramientas de Cálculo de la Calificación Energética de Viviendas (MINVU)

- Resultados del cálculo de la Calificación energética de la vivienda (CEV) para la vivienda tipo caso estudio.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA EN VIVIENDAS EN CHILE			
1.- Características de la vivienda			
1.1.- Datos generales e identificación del proyecto			
1	Tipo de Calificación	Pre calificación	Vivienda nueva
2	Región	Región de Biobío	
3	Comuna	Talcahuano	
4	Zona Térmica Proyecto	E	
5	Dormitorios de la vivienda	3	
Tiene las siguientes Zonas Térmicas: E - - -			
6	Identificación de la vivienda a evaluar	Pedro	
7	Nombre del proyecto	Casa condominio Elcarr	
8	Dirección de la vivienda	Avenida Tierras coloradas 3363 casa 32	
9	Tipo de vivienda	Casa Aislada	
10	Rol vivienda		
11	Evaluador energético	PEDRO AEDO	
12	Rol registro de Evaluadores:		
13	RUT Evaluador		
14	Versión Planilla	2.2	
15	Caso interno Evaluador		
16	Iteración Evaluador		
17	Solicitado por:		
18	RUT Mandante		
1.2.- Descripción general de los elementos de la envolvente (esto sólo se utiliza en la confección del certificado)			
19	Muro principal	Muro HORMIGÓN + POL con aislación por Interior, de materialidad Paredo, con $U=0,817$ [W/m ² K], espesor sólido 9 [cm] y espesor aislante de 5 [cm]	
20	Muro secundario	Muro fibrocemento + lana con aislación por Inter Elementos, de materialidad Liviso-Otro, con $U=0,1855$ [W/m ² K], espesor sólido 0,12 [cm] y espesor aislante de 5 [cm]	
21	Piso principal	Piso RADIER con aislación por Sln, con $U=$ [W/m ² K],	
22	Techo principal	Techo T LANA con aislación por Exterior con $U=0,5$ [W/m ² K] y espesor aislante de 10 [cm]	
23	Techo secundario		
24	Ventana principal: Vidrio y Marco	Vidrio DVH con espacador de 6mm con $U=3,28$ [W/m ² K] y factor solar de 0,7143	Marco Metal sin Ruptura de Puente Térmico con $U=5,8$ [W/m ² K] y factor Marco de 0,85
25	Ventana secundaria: Vidrio y Marco	Vidrio Vidrio Monolítico (VM) Sin espacador con $U=5,8$ [W/m ² K] y factor solar de 0,87	Marco Metal sin Ruptura de Puente Térmico con $U=5,8$ [W/m ² K] y factor Marco de 0,85
26	Puerta principal	Puerta Madera Sólida con $U=1,91$ [W/m ² K] y 0 % de vidrio	
1.3.- Descripción general de los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria			
27	Sistema de calefacción	ESTUFA A PELET	
28	Sistema de agua caliente	CALEFONT 14 LT	
2.- Dimensiones de la vivienda			
		Area [m ²]	Altura [m]
29	Piso 1	43,6	2,3
30	Piso 2	45,6	2,3
31	Piso 3+4+..		-
32	Total	89,24	205,25

- Resultados del cálculo de la Calificación energética de la vivienda (CEV) para la vivienda tipo caso estudio.

3.- Características térmicas de la envolvente																																	
3.1.- Área y coeficiente de transferencia de calor por elemento constructivo																																	
	Muros	Ángulo Azimut	Orientación	Densidad Muro	Área (m²)	U [W/m²K]	Puentes térmicos [m]			Posición Aislación																							
							P01	P02	P03																								
33	Muro 1	H.A.+P	-30° ≤ Az < -67,5°	O	Pezado	8,0	0,8	6,3	2,3	5,3	Interior																						
34	Muro 2	F+L	-30° ≤ Az < -67,5°	O	Livisao-Otro	6,7	0,1	12,6	2,3	-	Inter Elementos																						
35	Muro 3	H.A.+P	-180° ≤ Az < -157,5°	S	Pezado	15,7	0,8	2,3	-	7,5	Interior																						
36	Muro 4	F+L	-180° ≤ Az < -157,5°	S	Livisao-Otro	13,4	0,1	9,8	-	-	Inter Elementos																						
37	Muro 5	H.A.+P	30° ≤ Az < 112,5°	E	Pezado	5,6	0,8	2,3	-	5,3	Interior																						
38	Muro 6	F+L	30° ≤ Az < 112,5°	E	Livisao-Otro	8,0	0,1	7,6	-	-	Inter Elementos																						
39	Muro 7	H.A.+P	0° ≤ Az < 22,5°	N	Pezado	14,4	0,8	-	-	7,3	Interior																						
40	Muro 8	F+L	0° ≤ Az < 22,5°	N	Livisao-Otro	14,7	0,1	7,3	-	-	Inter Elementos																						
41	Muro 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																						
42	Muro 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																						
43	Muro 11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																						
44	Muro 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																						
45	Muro 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																						
46	Muro 14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																						
47	Muro 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																						
48	Muro 16 + ..	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																						
Puentes térmicos particulares																																	
	Alojda en el muro	Azimut	Orientación	Elemento perpendicular	Aislación	Longitud [m]																											
49	P04	-	-	-	-	-																											
50	P04	-	-	-	-	-																											
51	P04	-	-	-	-	-																											
52	P04	-	-	-	-	-																											
53	P04	-	-	-	-	-																											
Tipo Puerta		Azimut	Orientación	Categoría para infiltraciones	Alto [m]	Ancho [m]	Área vidrio [m2]	FAV 1				FAV 2 Izquierds				FAV 2 Derecha				FAV 3													
					(Incluye marco)				D	L	P	S	P	S	E	T	S	α															
54	Puerta 1	MS	30° ≤ Az < 112,5°	E	Madera Sólida	2,0	0,9	-																									
55	Puerta 2	MS	0° ≤ Az < 22,5°	N	Madera Sólida	2,0	0,9	-																									
56	Puerta 3	-	-	-	-	-	-	-																									
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] (V)	Categoría para PT y Infiltr	Tipo	FAV 1				FAV 2 Izquierds				FAV 2 Derecha				FAV 3			
Ventana (Incluye marco)																	Marco	D	L	P	S	P	S	E	T	S	α						
57	Ventana 1	DVH con 6mm	-30° ≤ Az < -67,5°	O	H.A.+P	Corredors	Contrads	Sin	1,43	1,00	Metalico	Sin RPT																					
58	Ventana 2	DVH con 6mm	-30° ≤ Az < -67,5°	O	H.A.+P	Fija	Contrads	Sin	1,43	1,00	Metalico	Sin RPT																					
59	Ventana 3	VM	-30° ≤ Az < -67,5°	O	F+L	Proyected	Contrads	Sin	0,60	0,60	Metalico	Sin RPT	0,5	1,3			1,3	1,0															
60	Ventana 4	DVH con 6mm	-30° ≤ Az < -67,5°	O	H.A.+P	Corredors	Contrads	Sin	0,34	0,57	Metalico	Sin RPT																					
61	Ventana 5	DVH con 6mm	-30° ≤ Az < -67,5°	O	H.A.+P	Fija	Contrads	Sin	0,34	0,57	Metalico	Sin RPT																					
62	Ventana 6	VM	0° ≤ Az < 22,5°	N	H.A.+P	Corredors	Contrads	Sin	0,85	0,63	Metalico	Sin RPT																					
63	Ventana 7	VM	0° ≤ Az < 22,5°	N	H.A.+P	Fija	Contrads	Sin	0,85	0,63	Metalico	Sin RPT																					
64	Ventana 8	VM	0° ≤ Az < 22,5°	N	F+L	Proyected	Contrads	Sin	0,55	0,55	Metalico	Sin RPT																					
65	Ventana 9	VM	-180° ≤ Az < -157,5°	S	H.A.+P	Proyected	Contrads	Sin	0,60	0,60	Metalico	Sin RPT																					
66	Ventana 10	DVH con 6mm	-180° ≤ Az < -157,5°	S	F+L	Fija	Contrads	Sin	0,60	0,60	Metalico	Sin RPT																					
67	Ventana 11	DVH con 6mm	-180° ≤ Az < -157,5°	S	F+L	Proyected	Contrads	Sin	0,60	0,60	Metalico	Sin RPT																					
68	Ventana 12	DVH con 6mm	67,5° ≤ Az < 90°	E	H.A.+P	Corredors	Contrads	Sin	2,00	1,00	Metalico	Sin RPT																					
69	Ventana 13	DVH con 6mm	67,5° ≤ Az < 90°	E	H.A.+P	Fija	Contrads	Sin	2,00	1,00	Metalico	Sin RPT																					
70	Ventana 14	DVH con 6mm	67,5° ≤ Az < 90°	E	H.A.+P	Corredors	Contrads	Sin	2,00	1,00	Metalico	Sin RPT																					
71	Ventana 15	DVH con 6mm	67,5° ≤ Az < 90°	E	H.A.+P	Fija	Contrads	Sin	2,00	1,00	Metalico	Sin RPT																					
72	Ventana 16	DVH con 6mm	67,5° ≤ Az < 90°	E	F+L	Corredors	Contrads	Sin	0,95	0,55	Metalico	Sin RPT																					
73	Ventana 17	DVH con 6mm	67,5° ≤ Az < 90°	E	F+L	Fija	Contrads	Sin	0,35	0,55	Metalico	Sin RPT																					
74	Ventana 18	DVH con 6mm	67,5° ≤ Az < 90°	E	F+L	Corredors	Contrads	Sin	0,35	0,55	Metalico	Sin RPT																					
75	Ventana 19	DVH con 6mm	67,5° ≤ Az < 90°	E	F+L	Fija	Contrads	Sin	0,35	0,55	Metalico	Sin RPT																					
76	Ventana 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-																					

- | % Anual referencial Rad Directo | | | | 100% | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|------|--|--|--|
| N | Ásmit | | | | | | |
| División | A [m] | B [m] | D [m] | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

% Anual referencial Rad Directo				100%			
E	Ásmit						
División	A [m]	B [m]	D [m]				

% Anual referencial Rad Directo				100%			
S	Ásmit						
División	A [m]	B [m]	D [m]				

% Anual referencial Rad Directo				100%			
O	Ásmit						
División	A [m]	B [m]	D [m]				

% Anual referencial Rad Directo				98%			
NE	Ásmit						
División	A [m]	B [m]	D [m]				
División 1	6,00	55,00	2,30				
División 1	6,00	44,00	3,40				
División 1	6,00	33,60	6,80				
División 2	6,00	24,50	3,00				
División 2	6,00	17,30	4,00				
División 3	6,00	15,00	5,00				
División 3	6,00	24,00	5,00				
División 4	6,00	10,00	6,20				

% Anual referencial Rad Directo				72%			
SE	Ásmit						
División	A [m]	B [m]	D [m]				
División 1	6,00	24,00	6,20				
División 1	6,00	34,00	6,00				
División 1	6,00	7,16	1,30				
División 2	6,00	4,60	3,12				
División 3	6,00	3,40	2,23				
División 4	6,00	4,20	3,30				
División 5	6,00	7,25	1,40				
División 5	6,00	23,00	3,00				

% Anual referencial Rad Directo				100%			
SO	Ásmit						
División	A [m]	B [m]	D [m]				
División 1	6,00	59,50	10,00				
División 1	6,00	43,00	3,25				
División 3	6,00	14,70	3,30				
División 4	6,00	33,00	4,20				
División 4	6,00	24,80	12,00				
División 5	6,00	46,00	12,00				

% Anual referencial Rad Directo				65%			
NO	Ásmit						
División	A [m]	B [m]	D [m]				
División 1	6,00	41,00	2,24				
División 1	6,00	28,00	6,00				
División 2	6,00	6,50	1,50				
División 2	6,00	4,00	2,80				
División 2	6,00	3,10	2,00				
División 4	6,00	4,00	2,60				
División 5	6,00	23,00	4,40				
División 5	6,00	23,00	4,80				

Techos			Cuneros de alfe			Posición Aislación		
Densidad Techo	Área (m²)	U [W/m²K]	Tipos de cubierta					
T LANA	Línea-Oto	46,00	0,50	Ligerante	Cubierta normal	Exterior		

- Resultados del cálculo de la Calificación energética de la vivienda (CEV) para la vivienda tipo caso estudio.

4.1.- Condiciones de uso de la vivienda

				Cargas internas [W/m2]												
				Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
				0	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
				1	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
				2	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
				3	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
				4	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
				5	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
				6	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34
				7	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53
				8	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
				9	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
				10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
				11	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
				12	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
				13	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
				14	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
				15	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
				16	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32
				17	2,21	2,21	2,21	2,21	3,71	3,71	3,71	2,21	2,21	2,21	2,21	2,21
				18	2,21	2,21	3,71	3,71	3,71	3,71	3,71	3,71	2,21	2,21	2,21	2,21
				19	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81	4,81
				20	5,47	5,47	5,47	5,47	5,47	5,47	5,47	5,47	5,47	5,47	5,47	5,47
				21	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31	5,31
				22	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
				23	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68	3,68
				Renovaciones de aire por hora [1/h]												
				Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
				0	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				1	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				2	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				3	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				4	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				5	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				6	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				7	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				8	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				9	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				10	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				11	3,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	3,87
				12	3,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	3,87
				13	3,87	3,87	3,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	3,87
				14	3,87	3,87	3,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	3,87
				15	3,87	3,87	3,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	3,87
				16	3,87	3,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	3,87	3,87
				17	3,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	3,87
				18	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				19	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				20	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				21	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				22	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				23	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
				Infiltraciones												
118	¿Cuanto con escape de presurización?	No														
119	Indicar valor del escape de presurización	[RAH] a 50Pa														
120	De existir ductos de ventilación, ¿Cuántos hay?	[un]														
121	De existir Colofos, ¿Cuántos hay?	3,00	[un]													
				Ventilación												
122	Ventilación Mecánica (VM)	NO existen ventiladores para la ventilación de														
123	Eficiencia Recuperador de Calor, si aplica		[%]													
	Eficiencia por defecto	50,00	[%]													
124	¿Tiene Sensor de CO2?	No														
125	De tener, RAH según Memoria de Cálculo	0,69448	[RAH]													
		0,8707														

Figura 45: Hoja CEV-CEVE 03.PBTD_datos de equipos y resultados

Fuente: Herramientas de Cálculo de la Calificación Energética de Viviendas (MINVU)

- Cálculo de sombra Calificación energética de la vivienda (CEV) para la vivienda tipo caso estudio.

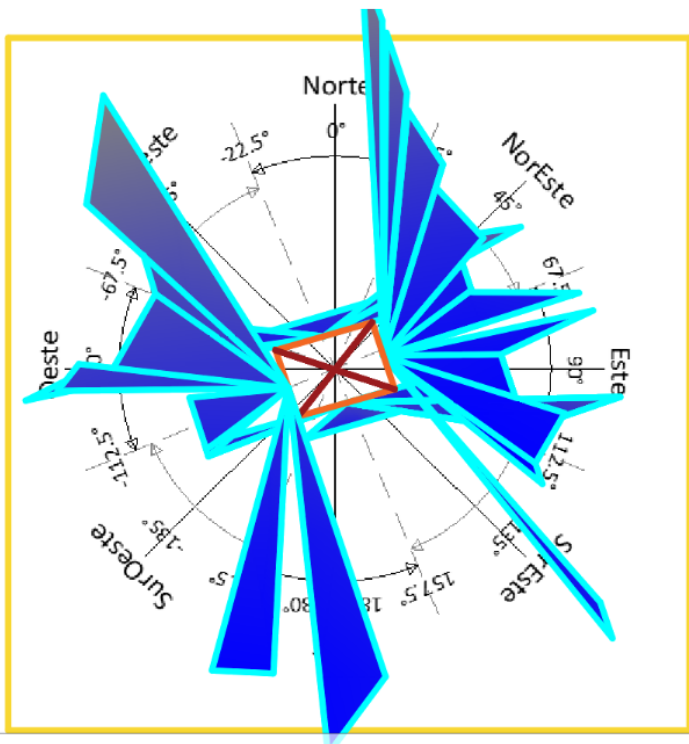
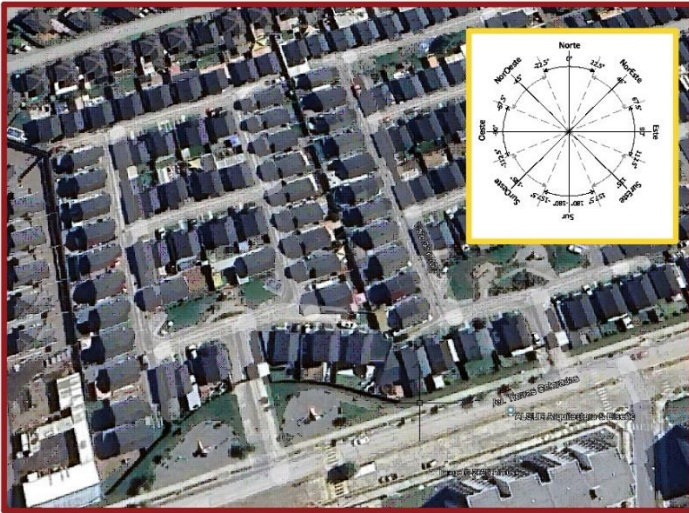


Figura 46: Análisis de sombras incidentes en vivienda estudio

Fuente: Herramientas de Cálculo de la Calificación Energética de Viviendas (MINV)

2.4 Resultados de la evaluación energética

- Demanda térmica anual (kWh/año y kWh/m²·año):
 1. Resultados de la demanda térmica anual calculada por el CEV: 4.807,4 kwh/año
 2. Resultados de la demanda térmica anual calculada por el CEV: 53,9 kwh/m2-año
- Representación gráfica demanda mensual y distribución anual.

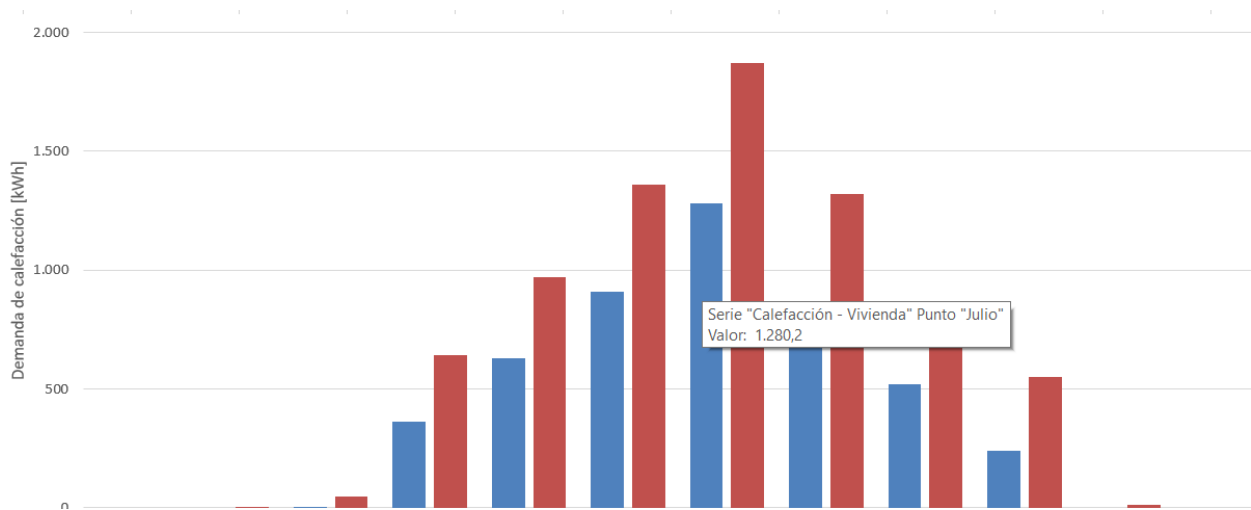


Figura 47: Grafico 1- 03.PBTD_datos de equipos y resultados

Fuente: Herramientas de Cálculo de la Calificación Energética de Viviendas (MINVU)

- Demanda térmica mensual, con énfasis en el mes de mayor consumo (julio):
 1. Resultados de la demanda térmica mensual calculada por el CEV con énfasis en el mes de mayor consumo: 1280,2 kwh

2.5 Conexión con la selección tecnológica

El cálculo de la demanda térmica de la vivienda tipo, determinado en **1280,2 kWh**, constituye la base objetiva sobre la cual se realizará la selección y dimensionamiento de las tecnologías de calefacción. Este valor permite proyectar de manera realista el comportamiento energético esperado de cada equipo bajo las condiciones climáticas del Gran Concepción, garantizando que la comparación se fundamente en parámetros homogéneos y verificables.

De este modo, los resultados obtenidos no sólo sirven como referencia técnica, sino que también se articulan directamente con los **objetivos generales de la tesis**, que buscan evaluar la viabilidad técnica y económica de distintas soluciones de climatización en el sector residencial privado.

Sobre esta base, en el siguiente capítulo se exponen las especificaciones técnicas, principios de funcionamiento y características operativas de las tres alternativas seleccionadas —**bomba de calor aerotérmica, aire acondicionado inverter y estufa a pellet**—, tecnologías que serán evaluadas en función de la demanda previamente calculada para la vivienda tipo.

CAPITULO 3: Exponer las alternativas de calefacción bomba de calor aerotérmica, aire acondicionado inverter y estufa a pellet para la vivienda tipo

3.1 Introducción

La elección del sistema de calefacción constituye una de las decisiones más relevantes en el desempeño energético de una vivienda. En el contexto del caso de estudio definido, resulta esencial analizar en detalle las alternativas tecnológicas disponibles que pueden responder a las necesidades térmicas del hogar, considerando su eficiencia, costos y adecuación al clima del Gran Concepción.

Ahora bien, para que dicha comparación sea técnicamente válida, se requiere previamente conocer con exactitud la **demanda térmica de la vivienda tipo (1280,2 kWh)**, la cual fue determinada mediante la Calificación Energética de Viviendas (CEV), en el mes más desfavorable que es Julio. Este cálculo estableció el marco de referencia cuantitativo sobre el que se proyecta el desempeño de los equipos, permitiendo exponer y dimensionar correctamente cada alternativa, estimar sus consumos energéticos y proyectar sus costos de operación.

Con esta base, este capítulo expone las especificaciones técnicas, principios de funcionamiento y principales características de tres tecnologías seleccionadas para calefacción residencial: aire acondicionado inverter, estufa a pellet y bomba de calor aerotérmica. Las dos primeras forman parte de las alternativas actualmente recomendadas por el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA), mientras que la bomba de calor se incorpora como una opción emergente de alto potencial. Cada una de ellas se presenta como solución viable dentro del parque habitacional, aunque con diferencias significativas en términos de consumo energético, impacto ambiental, inversión inicial y facilidad de operación.

El objetivo es proporcionar un marco comparativo claro y fundamentado que permita entender las ventajas y limitaciones de cada alternativa, sentando así las bases para la evaluación económica posterior y la discusión sobre su pertinencia en la vivienda tipo definida como caso de estudio.

3.2 Criterios de selección de tecnologías

- Justificación de por qué se eligieron estas tres alternativas.
- Adaptabilidad a las condiciones climáticas del Gran Concepción.
- Cobertura de distintas fuentes energéticas: eléctrica y biomasa.

Justificación de la selección

Las tres alternativas de calefacción consideradas —bomba de calor aerotérmica, aire acondicionado inverter y estufa a pellet— fueron escogidas por su relevancia en el contexto del sector residencial del Gran Concepción y por su potencial de reducir emisiones contaminantes asociadas al uso de calefactores a leña. Dos de ellas (aire acondicionado inverter y estufa a pellet) se encuentran actualmente reconocidas dentro de los programas de recambio de calefactores del PPDA, lo que refleja su validación institucional. La bomba de calor, en cambio, constituye una alternativa emergente que, pese a no estar aún incorporada en dichos programas, presenta un desempeño técnico superior en términos de eficiencia energética.

Adaptabilidad climática

El clima templado oceánico del Gran Concepción, con inviernos lluviosos y temperaturas que oscilan entre 5 °C y 10 °C en la temporada de calefacción, exige tecnologías capaces de mantener un rendimiento estable a bajas temperaturas exteriores.

- **Bomba de calor aerotérmica:** mantiene altos coeficientes de desempeño ($COP > 4$) incluso en condiciones de frío moderado y ofrece buen rendimiento en climas como el de la zona, aunque su eficiencia puede disminuir en condiciones más extremas.
- **Aire acondicionado inverter:** mantiene altos coeficientes de desempeño ($COP > 3$) incluso en condiciones de frío moderado y ofrece buen rendimiento en climas como el de la zona, aunque su eficiencia puede disminuir en condiciones más extremas.
- **Estufa a pellet:** garantiza calor estable independientemente de la temperatura exterior, siempre que se disponga de suministro de biomasa.

Diversificación de fuentes energéticas

La selección de tecnologías responde también a la necesidad de evaluar alternativas que utilicen distintas fuentes energéticas:

- Electricidad (bomba de calor y aire acondicionado inverter).
- Biomasa procesada (estufa a pellet).
Esta cobertura permite analizar ventajas y desventajas no solo desde el punto de vista técnico, sino también en relación con la seguridad energética, disponibilidad de insumos y estabilidad de precios en el tiempo.

3.3 Descripción técnica de cada alternativa

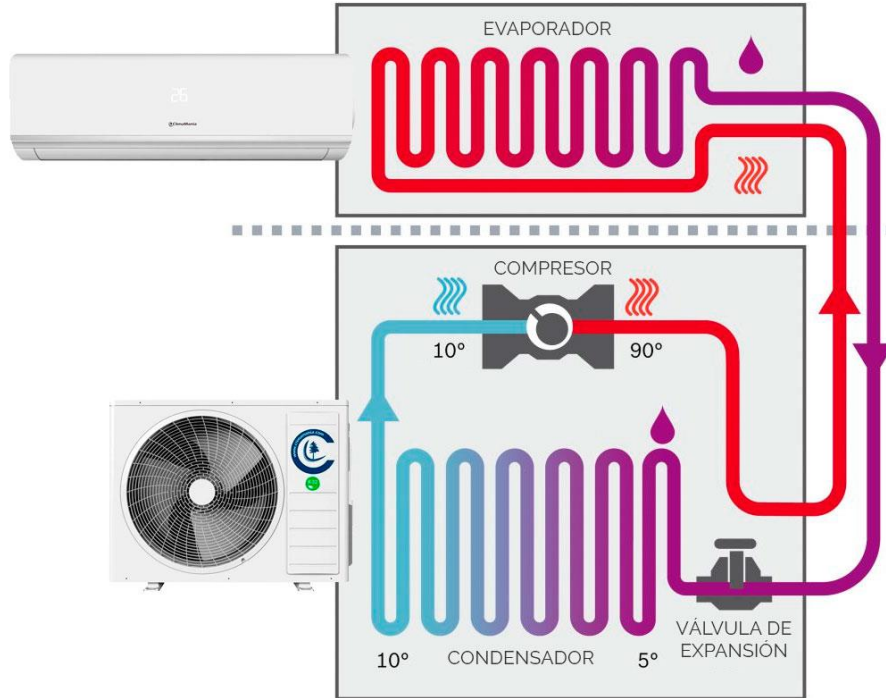


Figura 48: Diagrama Aire Acondicionado

Fuente: Referencia world wide web

1. Aire acondicionado inverter

• Que es y cuál es el principio de funcionamiento

Un aire acondicionado es un dispositivo que se utiliza para refrigerar o calentar una habitación, casa o departamento. Con el desarrollo de la tecnología moderna, ocurrieron avances significativos en la mecánica del aire acondicionado, y se diseñó un tipo de aire acondicionado más efectivo llamado aire acondicionado inverter.

Los aires acondicionados inverter tienen muchas ventajas sobre los aires acondicionados no inverter de tecnología más antigua. En adelante explicaremos las características y ventajas de los aires acondicionados inverter, así como las diferencias entre los aires acondicionados inverter y no inverter.

¿Qué es el aire acondicionado Inverter y cómo funciona?

El aire acondicionado inverter es un tipo de sistema de aire acondicionado que utiliza un compresor controlado por inverter para ajustar la velocidad del compresor para alcanzar la temperatura deseada. Cuando la temperatura ambiente aumenta, el compresor inverter aumenta su velocidad para producir más aire frío. Cuando baja la temperatura, el compresor inverter disminuye su velocidad para producir menos aire frío. Este ajuste permite que el aire acondicionado inverter mantenga una temperatura más constante, lo que resulta en un menor consumo de energía.

La tecnología Inverter utiliza un variador de frecuencia (VFD) que regula la velocidad del motor del compresor. De esta manera, puede ajustar la cantidad de refrigerante que fluye a través del sistema para adaptarse a las necesidades de refrigeración del espacio.

¿Cuál es la diferencia principal entre los aires acondicionados no inverter e inverter?

La diferencia principal entre los aires acondicionados no inverter e inverter es el funcionamiento del compresor.

Los aires acondicionados no inverter utilizan un compresor de velocidad fija que funciona a una velocidad constante, lo que significa que funciona constantemente a plena potencia cuando el aire acondicionado está encendido, produciendo un gran caudal de aire frío. Cuando baja la temperatura de la habitación, el compresor de velocidad fija deja de funcionar y deja de producir aire frío, lo que puede provocar fluctuaciones de temperatura en la habitación y hacer que se sienta demasiado caliente o demasiado fría en ocasiones y dependiendo de la configuración. Debido a este tipo de operación de parada y arranque, los aires acondicionados no inverter son menos eficientes energéticamente que los aires acondicionados inverter.

Los aires acondicionados inverter utilizan un compresor controlado por inverter que ajusta su velocidad para alcanzar la temperatura deseada, lo que resulta en una variedad de beneficios, como un menor consumo de energía, refrigeración y calefacción más consistentes y una vida útil más larga que las unidades de aire acondicionado tradicionales.

Por distintas razones, los aires acondicionados inverter se consideran más eficientes energéticamente que los aires acondicionados no inverter. Los compresores controlados por inverter son más eficientes y consumen menos energía eléctrica porque se puede ajustar su velocidad. Al ajustar la velocidad del compresor, se controla la salida de calefacción o refrigeración, y es posible crear un rango de funcionamiento de baja velocidad para el compresor en función de la diferencia entre la temperatura establecida y la temperatura ambiente actual. Esto da como resultado un ahorro de energía en comparación con un aire acondicionado de velocidad fija. Algunos aires acondicionados inverter también tienen funciones de control de energía que permiten realizar un seguimiento del consumo de energía y modificar la configuración en consecuencia.

Estos equipos trabajan con el principio de bomba de calor aire-aire, lo que les permite entregar tanto refrigeración en verano como calefacción en invierno.

- Coeficiente de rendimiento (COP)

- En modo calefacción, su COP suele estar entre 3 y 4, dependiendo de la marca, modelo y condiciones ambientales.
- En la mayoría de los casos, un aire acondicionado inverter moderno puede alcanzar categorías A++ o A+++ en eficiencia energética bajo la normativa europea.

- Rango de operación y comportamiento en bajas temperaturas

- Los equipos de aire acondicionado inverter suelen estar diseñados para operar eficientemente en modo calefacción con temperaturas exteriores entre -5 °C y 24 °C (aunque modelos más avanzados pueden extender el rango hasta -15 °C o -20 °C).
- En climas húmedos y fríos, como el del Gran Concepción, la unidad exterior puede acumular escarcha cuando la temperatura está cercana a los 0 °C. Para evitar pérdida de rendimiento, el equipo ejecuta ciclos de deshielo mediante inversión de ciclo, lo que puede reducir momentáneamente la entrega de calor.
- Su eficiencia (COP) tiende a disminuir con la baja de temperatura exterior, pero sigue siendo más favorable que la calefacción eléctrica directa.

- Requerimientos de instalación y mantenimiento

Instalación:

- Consta de una unidad interior (evaporador) y una unidad exterior (condensador/compresor) conectadas por tuberías de cobre con refrigerante.
- Se requiere instalación eléctrica con protección dedicada y, en muchos casos, desagüe de condensados.
- El proceso es relativamente simple y más económico que el de una bomba de calor aire-agua.

Mantenimiento:

- Limpieza periódica de filtros interiores (cada 1-3 meses, según uso).
- Inspección anual de presión de gas refrigerante y estado del compresor.
- Limpieza del intercambiador exterior para evitar pérdida de rendimiento.
- El costo de mantenimiento es bajo en comparación con estufas a pellet (que requieren limpieza frecuente de cenizas).

● Potenciales beneficios ambientales

- Al operar eléctricamente y con $COP > 3$, los aires acondicionados inverter consumen hasta 60-70% menos energía que calefactores eléctricos resistivos.
- Contribuyen a la reducción de emisiones locales, ya que no generan humo ni material particulado ($MP_{2,5}$), uno de los principales contaminantes en el Gran Concepción.
- Su impacto ambiental global depende de la matriz energética. En Chile, con creciente penetración de energías renovables (solar, eólica e hidráulica), el uso de este tipo de equipos favorece la descarbonización.
- A diferencia de la biomasa (pellet o leña), no generan residuos sólidos ni requieren transporte de combustible.

2. Estufa a pellet

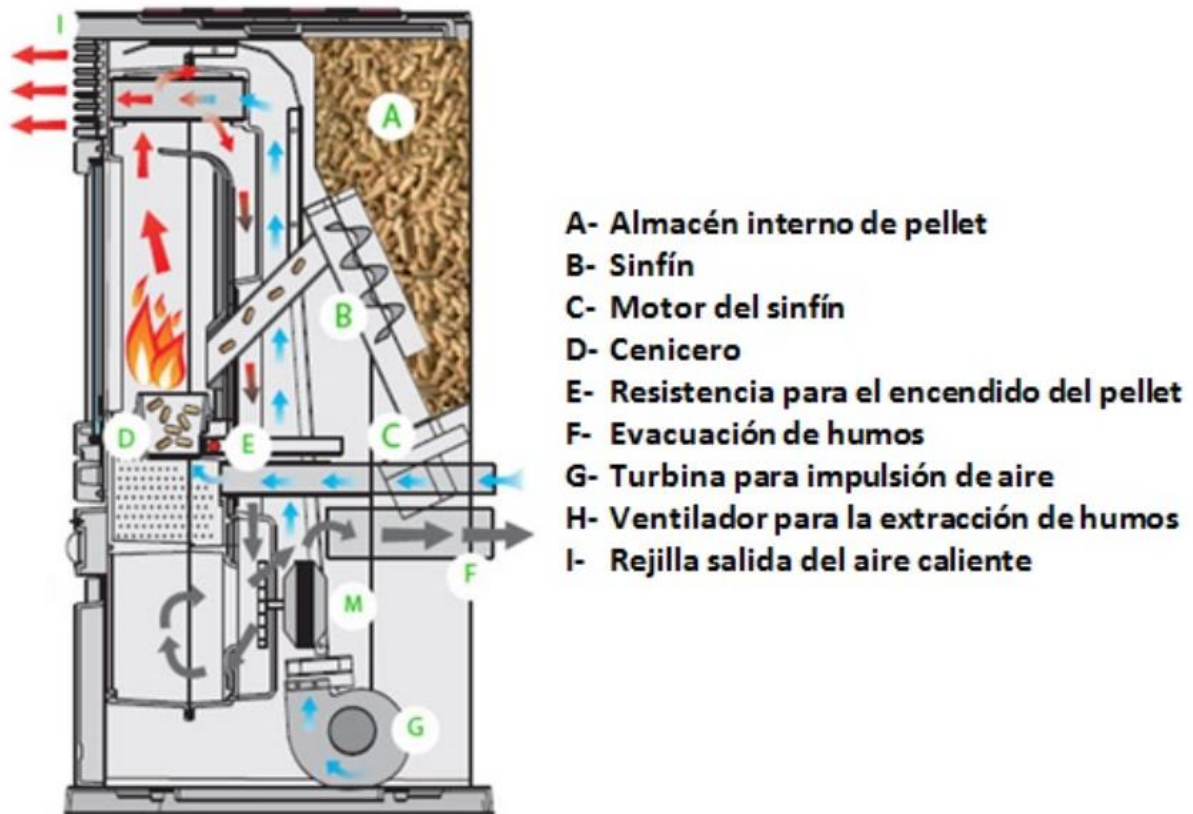


Figura 49: Diagrama Estufa Pellet

Fuente: Referencia world wide web

• Que es y cuál es el principio de funcionamiento

Las estufas a pellet son una forma de calefacción eficiente y ecológica que utiliza pequeños cilindros de material orgánico comprimido, conocidos como pellets. Estos pellets se encienden en la estufa generando calor.

Las estufas a pellet funcionan de forma automática. El combustible pellets de madera es alimentado desde el depósito superior a través de un sinfín hasta el cenicero, donde una resistencia eléctrica inicia la combustión. Un ventilador impulsa el aire frío hacia el quemador y luego hacia un intercambiador de calor, distribuyendo calidez mediante convección o radiación.

Si bien las estufas a pellet se caracterizan por utilizar biomasa como fuente principal de energía, su funcionamiento depende de un aporte constante de electricidad para el encendido, el transporte automático del combustible, la operación de los ventiladores y la unidad de control. Esta dualidad

las sitúa en un punto intermedio entre tecnologías de combustión y sistemas completamente eléctricos, lo que es relevante al momento de evaluar su factibilidad técnica y operativa en el contexto del caso de estudio.

• Coeficiente de rendimiento (COP)

Estas estufas presentan una alta eficiencia térmica. Según la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA), los modelos certificados alcanzan eficiencias entre 70 % y 83 %. Otros estudios reportan rangos aún más elevados, entre el 85 % y el 95 %, especialmente en sistemas bien dimensionados y con carga completa.

• Rango de operación y comportamiento en bajas temperaturas

Estas estufas operan con temperaturas ambientales variables sin afectar su desempeño interno. Su comportamiento es independiente del clima exterior; sin embargo, es crucial asegurar una canalización de humos eficiente. Condiciones adversas como alta humedad o viento pueden afectar el tiro de la chimenea y, por ende, el desempeño global.

• Requerimientos de instalación y mantenimiento

Instalación:

- Un conducto de evacuación de humos, preferentemente metálico, aislado y con diámetro de entre 80 y 100 mm.
- En viviendas herméticas, se exige toma de aire exterior para asegurar una combustión segura.

Mantenimiento:

- incluye limpieza periódica del sinfín, cenicero y conductos de humos. Se recomienda un servicio técnico anual para los componentes internos como intercambiadores y ventiladores.

• Potenciales beneficios ambientales

- Al usar biomasa certificada y quemarla de forma controlada, estas estufas minimizan emisiones de contaminantes, incluida la creosota, produciendo una fracción de ceniza residual
- La estufa a pellet genera emisiones mucho menores, generalmente en torno a 0,02 – 0,5 g/h de MP_{2,5}, dependiendo de la calidad del pellet y del equipo.
- En promedio, una estufa a pellet puede emitir hasta 30 veces menos MP_{2,5} que una estufa a leña.

3. Bomba de calor aerotérmica

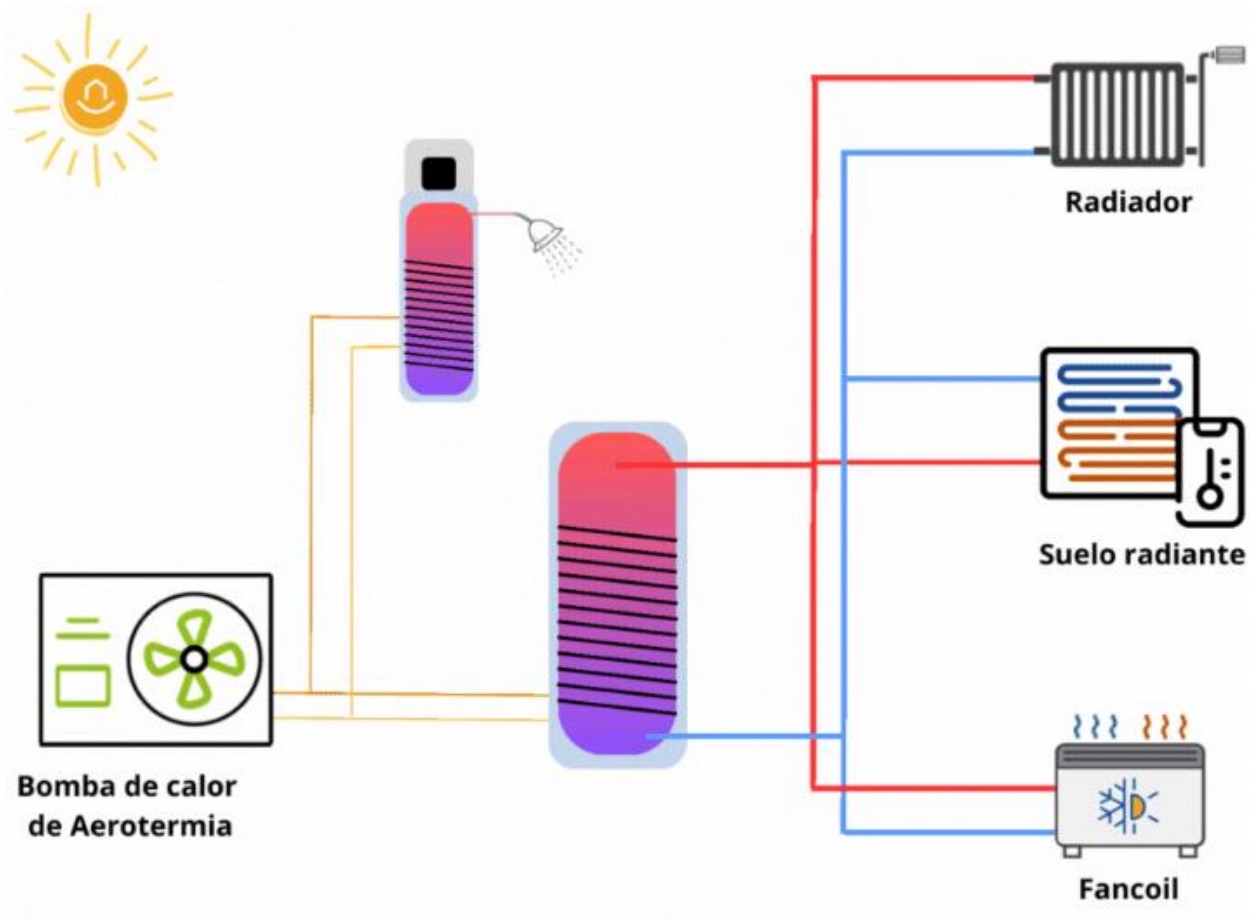


Figura 50: Diagrama Bomba de Calor

Fuente: Referencia world wide web

• Que es y cuál es el principio de funcionamiento

La bomba de calor es uno de los equipos de climatización más eficientes del mercado para calefaccionar una vivienda. Básicamente, la bomba de calor se encargan de extraer el calor del ambiente exterior y transferirlo a un espacio interior, proporcionando un rendimiento muy eficaz en calefacción.

Las bombas de calor están compuestas por un evaporador, un compresor, un condensador y una válvula de expansión. Además, cuentan con un circuito interno que contiene un líquido refrigerante que absorbe el calor del aire (aerotermia), del suelo (geotermia) o del agua subterránea (hidrotermia) y se transforma en vapor.

Cuando la bomba de calor opera en modo calefacción, su objetivo es calentar el líquido refrigerante mediante compresión para generar calor. Una vez que el fluido ha absorbido el calor y se ha convertido en vapor, pasa por un compresor donde aumenta su presión y temperatura. Posteriormente, este vapor, que contiene una gran cantidad de energía, cede su calor al espacio que se desea calentar. Una vez que el fluido refrigerante ha liberado su energía, su temperatura disminuye. Esta reducción es más notable cuando, al pasar por la válvula de expansión, el fluido se descomprime a un nivel muy inferior al que tenía antes de ser comprimido.

De esta manera, la bomba de calor extrae calor de un lugar para distribuirlo en otro, y el ciclo se reinicia.

La bomba de calor aerotérmica opera bajo el principio de termodinámica, transfiriendo calor desde el aire exterior hacia el interior de la vivienda (modo calefacción), o viceversa (modo refrigeración). Dependiendo de su configuración, puede ser:

- **Aire-agua:** utiliza el calor extraído para calentar agua que luego se distribuye en sistemas de radiadores, suelo radiante o fan-coils.
- **Aire-aire:** transfiere el calor directamente al aire interior mediante unidades tipo split

• Coficiente de rendimiento (COP)

El COP indica la relación entre la energía térmica entregada y la energía eléctrica consumida en condiciones nominales. Las bombas de calor aerotérmicas modernas presentan valores de COP entre 3 y 5, lo que significa que entregan de 3 a 5 kWh de calor por cada kWh eléctrico consumido.

• Rango de operacion y comportamiento en bajas temperaturas

Las bombas de calor aerotérmicas pueden funcionar incluso con temperaturas exteriores cercanas a -7 °C a -15 °C dependiendo del fabricante. Sin embargo, a medida que disminuye la temperatura exterior, el COP se reduce debido al mayor esfuerzo del compresor y a la necesidad de ciclos de deshielo. Aun así, su rendimiento se mantiene superior al de sistemas eléctricos directos o a resistencias.

• Requerimientos de instalación y mantenimiento

Instalación:

- requiere un espacio exterior adecuado para ubicar la unidad condensadora, con buena ventilación y baja exposición a obstáculos. La versión aire-agua demanda conexión hidráulica a los radiadores o fancoils.
- Se requiere instalación eléctrica con protección dedicada y, en muchos casos, desagüe de condensados.

Mantenimiento:

- Inspección anual de presión de gas refrigerante, estado del compresor y otros componentes eléctricos.
- El costo de mantenimiento es bajo en comparación con estufas a pellet (que requieren limpieza frecuente de cenizas).

• Potenciales beneficios ambientales

- Al operar eléctricamente y con $COP > 3$, los aires acondicionados inverter consumen hasta 60-70% menos energía que calefactores eléctricos resistivos.
- Contribuyen a la reducción de emisiones locales, ya que no generan humo ni material particulado ($MP_{2,5}$), uno de los principales contaminantes en el Gran Concepción.
- Su impacto ambiental global depende de la matriz energética. En Chile, con creciente penetración de energías renovables (solar, eólica e hidráulica), el uso de este tipo de equipos favorece la descarbonización.
- A diferencia de la biomasa (pellet o leña), no generan residuos sólidos ni requieren transporte de combustible.

3.4 Ficha técnica comparativa

La evaluación objetiva de tecnologías de calefacción requiere más que una descripción individual de sus características: es necesario establecer una base común que permita contrastar parámetros técnicos en condiciones equivalentes. Con este propósito, la **ficha técnica comparativa** se plantea como una herramienta central del presente capítulo, ya que organiza la información clave de las tres alternativas estudiadas aire acondicionado invertir, estufa a pellet y bomba de calor aerotérmica, en un formato que facilita la lectura y análisis crítico.

La comparación de variables como fuente de energía, coeficiente de desempeño (COP), potencia nominal, emisiones locales, dependencia eléctrica, vida útil, mantenimientos, servicio técnico presente en la región, capacidad de calefacción, permitirán no solo dimensionar la eficiencia y pertinencia de cada tecnología en el contexto del **Gran Concepción**, sino también aportar criterios prácticos para la toma de decisiones. En este sentido, la tabla sintetiza de manera clara los aspectos más relevantes de cada equipo, convirtiéndose en un insumo técnico esencial para finalizar con la evaluación económica y discusión de resultados.

Ficha técnica aire acondicionado



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

EQUIPO SPLIT MURO INVERTER R32 <i>Infinity</i>					
MODELO		GES9ECO-INV-R32	GES12ECO-INV-R32	GES18ECO-INV-R32	GES24ECO-INV-R32
MODO DE OPERACIÓN		FRÍO - CALOR	FRÍO - CALOR	FRÍO - CALOR	FRÍO - CALOR
Alimentación Eléctrica	V/Hz/Ph	220 / 50 / 1	220 / 50 / 1	220 / 50 / 1	220 / 50 / 1
Capacidad Nominal	Btu/h	9111 9306	11611 11952	17516 18014	22026 22026
Consumo Eléctrico Nominal	Watt / Amp	789 / 3,8 717 / 3,5	1059 / 5 970 / 4,3	1580 / 7,5 1380 / 6,6	1842 / 7,6 1612 / 7,6
Consumo Eléctrico Máximo	Watt / Amp	1350 / 7,5	1500 / 7,5	1900 / 9	2300 / 11,5
Eficiencias EER / COP	W/W	3,48 3,8	3,21 3,61	3,25 3,82	3,5 4
Eficiencia SEER	W/W	5,8	5,9	6	6,8
Caudal de Aire (SH, H, M, L, SL)*	M3/h	500/470/420/290/250	590/520/400/320/280	1050/870/740/570/480	1050/900/690/590/540
Nivel de Ruido (SH, H, M, L, SL)**	dB(A)	39/37/33/33/27/25	41/37/33/28/26	48/44/38/32/30	50/46/42/36/32
Dimensiones (L,W,H)***	mm	708/185/260	783/185/260	943/246/333	943/246/333
Peso Neto	Kg	7,5	8	13	13,5
Caudal de Aire Máximo	M3/h	1950	1950	2000	2800
Nivel de Ruido	dB(A)	50	52	55	58
Dimensiones (L, W, H)***	mm	732/330/555	732/330/555	732/330/555	873/376/555
Peso Neto	Kg	24,5	25,5	26,5	36,5
Rango Operación frío	°C	18 a 43	18 a 43	18 a 43	-15 a 43
Rango Operación de Calor	°C	-7 a 24	-7 a 24	-7 a 24	-15 a 24
Conexion de Cañerías	Pulgadas	1/4 - 3/8	1/4 - 3/8	1/4 - 1/2	1/4 - 1/2
Distancia Cañerías (Largo/Vertical)	mt	15 / 10	20 / 10	25 / 10	25 / 10
Kits Cañerías	mt	4	4	4	4
Área de aplicación	m2	12 a 18	15 a 22	23 a 34	27 a 40
Pre Carga R32/carga adicional	Kg/grxmt	0.57/16	0.69/16	0.77/16	1.21/16

Notas sobre Especificaciones Técnicas.
* Caudal de Aire a Velocidades SH: Super Alta, H: Alta, M: Media, L: Baja, SL: Super baja
** Niveles de Ruido a Velocidades SH: Super Alta, H: Alta, M: Media, L: Baja, SL: Super baja
*** Dimensiones L: Largo, W: Fondo, H: Alto

Figura 51: Ficha Técnica Anwo

Fuente:

https://www.anwo.cl/files/prd_productos/53052/SPLIT%20MURO%20ECOFLOW.pdf

Ficha técnica estufa a Pellet

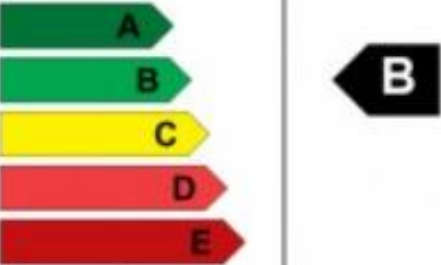
ENERGÍA	
Marca: Modelo:	CALEFACTOR A PELLETS DE MADERA AMESTI MILANO
Más eficiente  Menos eficiente	
Potencia Térmica Nominal	7,3 (kW)
EFICIENCIA ENERGÉTICA	80 (%)
Emissiones de material particulado	1,8 (g/h)
IMPORTANTE El rendimiento real varía dependiendo de las condiciones de uso del artefacto y su localización. Siga las indicaciones del fabricante para un buen uso de su calefactor. La etiqueta debe permanecer en el calefactor y sólo puede ser retirada por el consumidor final. Ensayos basados en los protocolos PC N° 201, PC N° 201/1 y PC N° 201/2 de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.	

Figura 52: Ficha Técnica Amesti

Fuente:<https://www.amesti.cl/milano/1115-milano-blanco-estufa-a-pellet-amesti-7809630001592.html>

Ficha técnica bomba de calor aire agua

MODEL		QBKFXFC-006SRI	
Heating capacity range		kW	3.0~8.0
DHW heating capacity	Heating capacity	kW	8
	Water yield	L/H	172
	Input power	kW	1.86
	COP	-	4.3
	Operating current	A	8.3
Heating capacity A7w35	Heating capacity	kW	6
	Input power	kW	1.36
	COP	-	4.42
	Operating current	A	6.1
Heating capacity A7w45	Heating capacity	kW	6
	Input power	kW	1.75
	COP	-	3.43
	Operating current	A	7.8
cooling capacity A35W7	Cooling capacity	kW	5
	Input power	kW	1.75
	EER	-	2.85
	Operating current	A	7.9
Heating capacity /COP	A7W55	-	5.9/2.92
	A-7W35	-	4.7/3.21
	A-7W45	-	4.8/2.75
	A-7W55	-	4.8/2.25
	A-15W35	-	3.8/2.68
	A-15W45	-	3.8/2.25
	A-15W55	-	3.9/1.86
ERP(35°C)		-	A+++
ERP(55°C)		-	A++
Power supply		V/Hz	220V-240/50Hz
Maximum input power		kW	3.8
Operating current		A	16
Noise		dB(A)	≤54
Unit dimension (W×D×H)		mm	1075*480*805
Packing dimension (W×D×H)		mm	1165*530*925
N.W.		kg	70
Color		-	white
Ambient temp. range		°C	-35~45
Refrigerant type		-	R32
Compressor	Type	-	DC inverter twin rotary
	Brand	-	Parasonic/GMCC
Throttling components		-	Electronic expansion valve
Air side heat exchanger		-	Hydrophilic aluminum foil fin heat exchanger
Air out type		-	Side
Fan type		-	Low noise axial fan
Fan motor	Type	-	Brushless DC motor
	Brand	-	NIDECE/ SiGe
	Number	-	1
Temperature range of heating water outlet		°C	25~58
Temperature range of cooling water outlet		°C	5~25
Temperature range of domestic hot water		°C	40~55
Water side heat exchanger		-	Plate heat exchanger
Brand of water side heat exchanger		-	Feng Huang
Water port size		-	G3/4 Internal thread(DN20)
Water yield		m³/h	1.38
Water side pressure loss		kPa	25
Expansion tank capacity		L	-

Figura 53: Ficha Técnica Andes Heating

Fuente: <https://solarheating.cl>

Tabla con parámetros claves:

La siguiente tabla resumen compara técnicamente las tres tecnologías de calefacción para la vivienda estudio.

Comparativa Tecnica	Aire Acondicionado Inverter	Estufa a Pellet	Bomba de calor
Fuente de energia	Electricidad	Pellet	Electricidad
Eficiencia (cop)(rendimiento)	COP 3 a 4	75 y 85% Rendimiento	COP 3 a 5
Potencia termica nominal (kw)	6,45	5,84	6
Emisiones locales (MP2,5)	Nulas	Menor a 1 Gr/hr	Nulas
Dependencia electrica	Si	Si	Si
Vida util	10 - 15 años	15 - 20 años	8 a 12 años
Mantenimiento para uso diario	No	Si	No
Disponibilidad de servicio tecnico	Si	Si	Si
Mantenimiento preventivo	Si, dos veces por año	Si, una vez por año	Si, una vez por año
Capacidad de calefaccion	Un recinto por unidad	Un recinto por unidad	Multiplicidad de recintos

Figura 54: Tabla resumen con parámetros claves

Fuente: Elaboración propia

Cálculo de entrada para selección de equipos:

3.5 Cálculo de entrada para selección de equipos:

Aire Acondicionado tipo invertir

El cálculo de demanda térmica de la vivienda es:

- 1280 kw/hr del mes más desfavorable (Julio) / 30 días = 42,67 kwh/día
- 42,67 kwh/día / 8 horas de uso de calefacción diario = 5,33 kw térmicos
- Con esta potencia térmica de 5,33 kw seleccionaremos nuestro equipo de aire.
 - 1 kw = 3414 btu/h
 - 5,33 kw x 3414 btu/h = 18.196,62 btu

Ahora con este cálculo podemos seleccionar el equipo por la cercanía en BTU calculados y según ficha técnica:

EQUIPO SPLIT MURO INVERTER R32 <i>Infinity</i>									
MODELO		GES9ECO-INV-R32		GES12ECO-INV-R32		GES18ECO-INV-R32		GES24ECO-INV-R32	
MODO DE OPERACIÓN		FRÍO - CALOR		FRÍO - CALOR		FRÍO - CALOR		FRÍO - CALOR	
Alimentación Eléctrica	V/Hz/Ph	220 / 50 / 1		220 / 50 / 1		220 / 50 / 1		220 / 50 / 1	
Capacidad Nominal	Btu/H	9111	9306	11611	11952	17516	18014	22026	22026
Consumo Eléctrico Nominal	Watt / Amp	789 / 3,8	717 / 3,5	1059 / 5	970 / 4,3	1580 / 7,5	1380 / 6,6	1842 / 7,6	1612 / 7,6
Consumo Eléctrico Máximo	Watt / Amp	1350 / 7,5		1500 / 7,5		1900 / 9		2300 / 11,5	
Eficiencias EER / COP	W/W	3,48	3,8	3,21	3,61	3,25	3,82	3,5	4

Figura 55: Ficha Técnica Anwo

Fuente:

https://www.anwo.cl/files/prd_productos/53052/SPLIT%20MURO%20ECOFLOW.pdf

- La selección es por el modelo:
 - GES24ECO-INV-R32 de 22026 btu/h
- El consumo eléctrico máximo según ficha técnica:
 - $22026 \text{ btu/h} / 3414 \text{ kw} = 6,45 \text{ kw}$
 - $6,45 \text{ kw térmicos} / 3,5 \text{ cop} = 1,84 \text{ kw eléctricos}$

DETALLE DE FACTURACIÓN CARGOS TARIFARIOS DECRETO VAD 11T/2016



Detalle del Cliente

N° Cliente: 9763714

Dirección del Cliente: TALCAHUANO, TIERRAS COLORADAS 9569 CASA 32 CASA 32

Ref. Boleta/Fatura N°: 453211010

Fecha Emisión de Facturación: 10-08-2025

Detalle de Mi Cuenta

Servicio Eléctrico	
Administración del servicio	\$ 1.022
Transporte de electricidad	\$ 15.064
Cargo servicio público	\$ 515
Cargo servicio público	\$ 1.316
Cargo compra potencia bt1 (656 kWh)	\$ 21.578
Cargo pot.base distribución (656 kWh)	\$ 25.232
Cargo energía (656 kWh)	\$ 105.325
Interés	\$ 409
Otros Cargos	
Ajuste para facilitar el pago en efectivo, mes anterior	\$ 3
Ajuste para facilitar el pago en efectivo, mes actual	\$ -64
Total Boleta:	\$ 170.461
Otros:	\$ -61
TOTAL A PAGAR:	\$ 170.400

Figura 56: Detalle de cuenta de luz

Fuente: www.cge.cl

* Costo promedio = $\$170.400 / 656 \text{ kwh} = \$259,79 \text{ kwh} \approx \$260 \text{ kwh}$

- Costo promedio según el consumo eléctrico por el valor del kw/hr en tarifa bt1 según boleta eléctrica para satisfacer la demanda térmica de la vivienda tipo:
 - $1,84 \text{ kw} \times \$260 \text{ kwh} = \$479 \text{ kw/hr}$

Estufa a Pellet

El cálculo de demanda térmica de la vivienda es:

- 1280 kw/hr del mes más desfavorable (Julio) / 30 días = 42,67 kwh/día
 - 42,67 kwh/día / 8 horas de uso de calefacción diario = 5,33 kw térmicos
 - Con esta potencia térmica de 5,33 kw seleccionaremos nuestra estufa a pellet.
- 7,3 kw x 80% de eficiencia energética= 5,84 kw

Ahora con este cálculo podemos seleccionar el equipo por la cercanía en BTU calculados y según su ficha técnica:

ENERGÍA		CALEFACTOR A PELLETS DE MADERA	
Marca:		AMESTI	
Modelo:		MILANO	
Más eficiente			
A			
B			
C			
D			
E			
Menos eficiente			
Potencia Térmica Nominal	7,3 (kW)		
EFICIENCIA ENERGÉTICA	80 (%)		
Emissiones de material particulado	1,8 (g/h)		

Estufa a pellet Milano Amesti

- Posee 5 niveles de potencia.
- Única con salida de humos posterior y superior
- Programación Semanal (encendido y apagado automático)
- Capacidad de la Tolva: 14 kg, hasta 17 horas de autonomía.
- Termostato Incorporado
- Peso: 80 Kg.
- Consumo de Pellet en Potencia mínima: 0,9 kg/h
- Consumo de Pellet en Potencia máxima: 2,1 kg/h
- Consumo Eléctrico en el Encendido: 350 Watts
- Consumo Eléctrico en funcionamiento: 80 Watts

Figura 57: Ficha Técnica Amesti

Fuente:<https://www.amesti.cl/milano/1115-milano-blanco-estufa-a-pellet-amesti-7809630001592.html>

- Modelo seleccionado:
 - Modelo Milano Amesti
- Consumo promedio de pellet según ficha técnica para satisfacer la demanda térmica de la vivienda entre potencia mínima y maxima:
 - $(0,9 \text{ kg/h} + 2,1 \text{ kg/h})/2 = 1,5 \text{ kgpellet/h}$



Figura 58: Banda de precios internter

Fuente: www.ecomas.cl

* Costo promedio Pellet \$4.190

- Costo promedio según el consumo de pellet por el valor del kg según base de datos de la pagina web para satisfacer la demanda térmica de la vivienda tipo:

- $\$4190 \text{ saco} / 15 \text{ kgpellet} = \$251 \text{ kgp/hr}$
- $\$251 \text{ kgpellet/h} \times 1,5 \text{ kgpellet/h} = \$377 \text{ kgpellet/h}$

Bomba de calor aire agua

El cálculo de demanda térmica de la vivienda es:

- 1280 kw/hr del mes más desfavorable (Julio) / 30 días = 42,67 kwh/día
- 42,67 kwh/día / 8 horas de uso de calefacción diario = 5,33 kw térmicos
- Con esta potencia térmica de 5,33 kw seleccionaremos nuestro equipo de aire.

Ahora con esta demanda térmica podemos seleccionar el equipo según el detalle de su ficha técnica:

- Heating Capacity = 6kw y nuestra demanda es de 5,33 kw

MODEL			QBKFXFC-006SRI
     			
Heating capacity range		kW	3.0 ~ 8.0
DHW heating capacity	Heating capacity	kW	8
	Water yield	L/H	172
	Input power	kW	1.86
	COP	-	4.3
	Operating current	A	8.3
Heating capacity A7w35	Heating capacity	kW	6
	Input power	kW	1.36
	COP	-	4.42
	Operating current	A	6.1
Heating capacity A7w45	Heating capacity	kW	6
	Input power	kW	1.75
	COP	-	3.43
	Operating current	A	7.8

Figura 59: Ficha Técnica Andes Heating

Fuente: <https://solarheating.cl/>

- El consumo eléctrico máximo según ficha técnica:
 - 6kw térmicos / 4,42 cop = 1,36 kw eléctricos

DETALLE DE FACTURACIÓN CARGOS TARIFARIOS DECRETO VAD 11T/2016



Detalle del Cliente

N° Cliente: 9763714

Dirección del Cliente: TALCAHUANO, TIERRAS COLORADAS 9569 CASA 32 CASA 32

Ref. Boleta/Fatura N°: 453211010

Fecha Emisión de Facturación: 10-08-2025

Detalle de Mi Cuenta

Servicio Eléctrico	
Administración del servicio	\$ 1.022
Transporte de electricidad	\$ 15.064
Cargo servicio público	\$ 515
Cargo servicio público	\$ 1.316
Cargo compra potencia bt1 (656 kWh)	\$ 21.578
Cargo pot.base distribución (656 kWh)	\$ 25.232
Cargo energía (656 kWh)	\$ 105.325
Interés	\$ 409
Otros Cargos	
Ajuste para facilitar el pago en efectivo, mes anterior	\$ 3
Ajuste para facilitar el pago en efectivo, mes actual	\$ -64
Total Boleta:	\$ 170.461
Otros:	\$ -61
TOTAL A PAGAR:	\$ 170.400

Figura 60: Detalle de cuenta de luz

Fuente: www.cge.cl

* Costo promedio = $\$170.400/656 \text{ kwh} = \$259,79\text{kwh} \approx \$260\text{kwh}$

- Costo promedio según el consumo eléctrico por el valor del kw/hr en tarifa bt1 según boleta eléctrica para satisfacer la demanda térmica de la vivienda tipo:
 - $1,36 \text{ kw} \times \$260 \text{ kwh} = \$353 \text{ kw/hr}$

3.6 Síntesis del capítulo

La revisión de las tres tecnologías —bomba de calor aerotérmica, aire acondicionado inverter y estufa a pellet— permitió caracterizar sus principios de funcionamiento, rangos de operación, eficiencia y requerimientos técnicos. Cada una presenta ventajas y limitaciones que condicionan su aplicabilidad en la vivienda tipo del Gran Concepción, desde la alta eficiencia y bajas emisiones locales de las bombas de calor, hasta la mayor penetración de las estufas a pellet en el mercado nacional gracias a su inclusión en programas de recambio.

Asimismo, resultó fundamental haber determinado la demanda térmica de la vivienda tipo mediante la Calificación Energética de Viviendas (CEV), ya que este valor constituye la base objetiva para estimar el desempeño real y el consumo energético de cada alternativa tecnológica.

De esta forma, el análisis técnico realizado en este capítulo se complementa con el cálculo energético previo, permitiendo establecer un marco sólido para la evaluación económica. En el siguiente capítulo se profundizará en la viabilidad económica de cada opción, considerando sus costos de inversión, operación y mantenimiento, con el fin de entregar una visión integral que oriente la toma de decisiones en el sector residencial privado.

CAPITULO 4: *Analizar la viabilidad económica* de cada tecnología, considerando costos de inversión, operación.

4.1 Introducción

La evaluación técnica de las alternativas de calefacción constituye solo una parte del análisis integral requerido para determinar su conveniencia en el sector residencial. Tan importante como el rendimiento energético es comprender los costos asociados a la implementación, operación y mantenimiento de cada tecnología, ya que son estos los que finalmente condicionan la adopción real por parte de los usuarios, especialmente en el ámbito privado.

Este capítulo aborda la viabilidad económica de las tres soluciones seleccionadas —bomba de calor aerotérmica, aire acondicionado inverter y estufa a pellet— a partir de la demanda térmica calculada para la vivienda tipo. Se consideran los costos de inversión inicial, los gastos anuales de operación y los requerimientos de mantenimiento a lo largo de la vida útil de cada sistema.

El propósito es ofrecer un análisis comparativo que permita identificar no solo qué alternativa resulta más eficiente en términos de consumo energético, sino también cuál representa una opción económicamente sostenible y accesible, contribuyendo así a orientar la toma de decisiones de inversión en calefacción limpia y eficiente.

4.2 Criterios de evaluación económica

El análisis económico de las alternativas de calefacción no se limita únicamente a comparar los costos globales de inversión, operación y mantenimiento de cada tecnología frente a la demanda térmica total de la vivienda tipo. Si bien este enfoque permite tener una visión general del desempeño financiero de los equipos —bomba de calor aerotérmica, aire acondicionado inverter y estufa a pellet—, resulta igualmente necesario profundizar en un segundo escenario de evaluación que considere la distribución de la calefacción por recintos.

Este segundo enfoque se fundamenta en que el confort térmico de una vivienda no depende únicamente de cubrir la demanda total, sino de la capacidad de cada sistema de responder de manera localizada y eficiente a las necesidades específicas de los distintos espacios habitables. En efecto, un análisis con desagregación por recintos permite estimar de manera más realista el dimensionamiento de los equipos, su operación parcial, y los ahorros potenciales asociados a un uso ajustado a la ocupación real de la vivienda.

De esta forma, el estudio económico integrará dos niveles de aproximación:

1. **Análisis de inversión a nivel global de la vivienda**, donde se evaluará el costo total de satisfacer la demanda térmica diaria proyectada.
2. **Análisis de inversión con distribución por recintos**, donde se evaluará el costo total de satisfacer la demanda térmica diaria proyectada y por otro lado estará orientado a reflejar las condiciones prácticas de operación y el cumplimiento efectivo de los estándares de confort térmico en la vivienda caso de estudio.

Este doble enfoque no solo mejora la precisión de la evaluación económica, sino que también entrega insumos más robustos para la toma de decisiones de inversión, considerando tanto la perspectiva macro (vivienda completa) como la micro (uso real por espacios).

- Parámetros de comparación para el análisis de inversión a nivel global de la vivienda:

1. **Costo de inversión inicial** (equipos + instalación).

Inversión							
Sistema	Inversión	Equipo generador	Cantidad	Recintos	Mts2 Totales	Tipología equipo	Costo
Bomba de Calor	\$ 5.325.940		1	Dormitorio	6 - 15 mts	1	\$ 259.000
			1	Dormitorio	6 - 15 mts	2	\$ 246.700
			1	Dormitorio	6 - 15 mts	2	\$ 229.240
			2	Living - Comedor	16 - 40 mts	2	\$ 259.000
			1	Cocina	6 - 15 mts	1	\$ 313.000
		Bomba de Calor	1	N/A	N/A	N/A	\$ 3.760.000
Aire Acondicionado	\$ 965.000		0	Piezas	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Baños	0 - 5 mts		\$ 250.000
			0	Living - Comedor	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Cocina	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Living	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Vestidor	6 - 15 mts		\$ 250.000
		Aire Acondicionado	1	N/A	N/A	N/A	\$ 965.000
Estufa Pellet	\$ 1.450.000		0	Piezas	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Baños	0 - 5 mts		\$ 250.000
			0	Living - Comedor	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Cocina	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Living	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Vestidor	6 - 15 mts		\$ 250.000
		Estufa Pellet	1	N/A	N/A	N/A	\$ 1.450.000

Figura 60: Tabla de costos de inversión inicial

Fuente: Elaboración propia

- Ubicación en planta de los equipos de calefacción:

Bomba de calor aire agua

Para esta primera comparativa base según el cálculo de demanda térmica de la vivienda tipo se debe instalar una Bomba de Calor de 6kw térmicos, los cuales son distribuidos en 5 recintos simultáneamente a través de radiadores de alta eficiencia. La ubicación de estos elementos de calefacción se pueden apreciar en las siguientes imágenes:

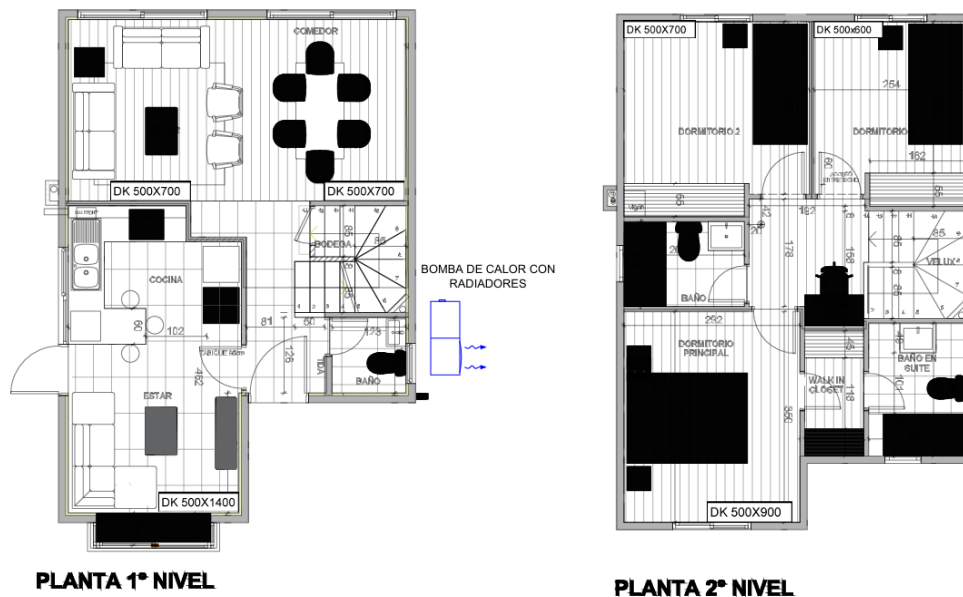
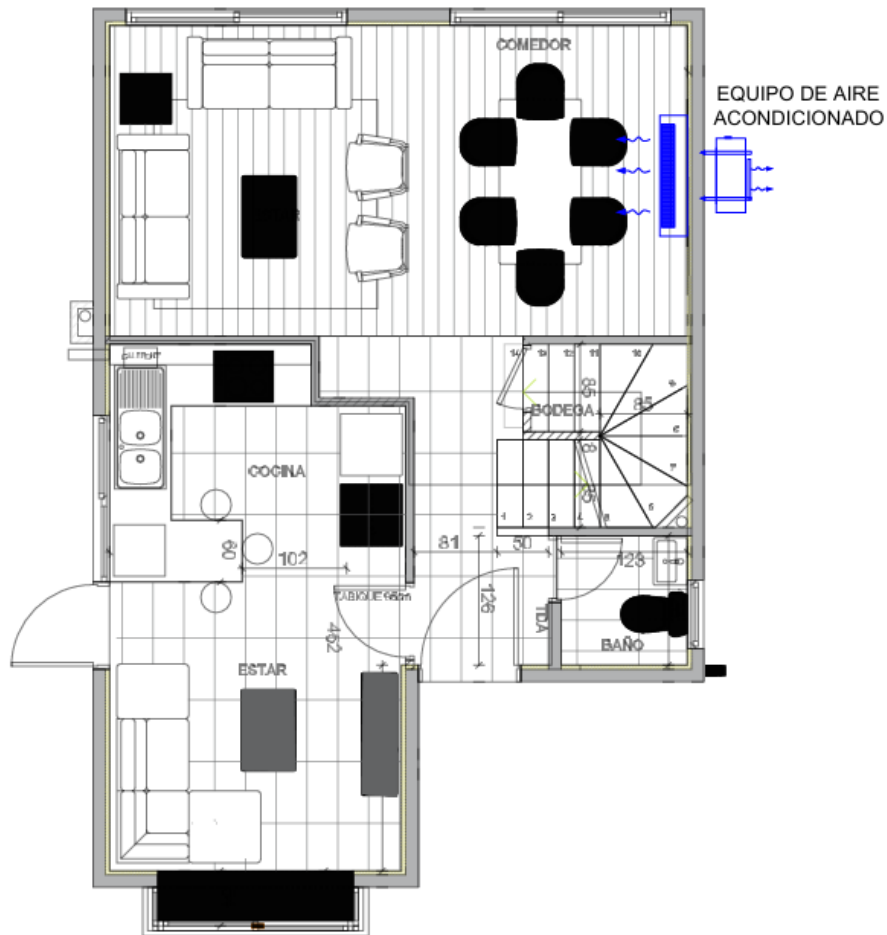


Figura 61: Ubicación de Bomba de Calor con 5 Radiadores.

Fuente: Elaboración propia

Aire Acondicionado

Para esta primera comparativa base según el cálculo de demanda térmica de la vivienda tipo se debe instalar un equipo de Aire Acondicionado de 6,45 kw térmicos, el cual se puede apreciar en la siguiente imagen:



PLANTA 1° NIVEL

Figura 62: Ubicación de equipo de Aire Acondicionado.

Fuente: Elaboración propia

Estufa a Pellet

Para esta primera comparativa base según el cálculo de demanda térmica de la vivienda tipo se debe instalar una Estufa a Pellet de 5,84 kw térmicos, el cual se puede apreciar en la siguiente imagen:

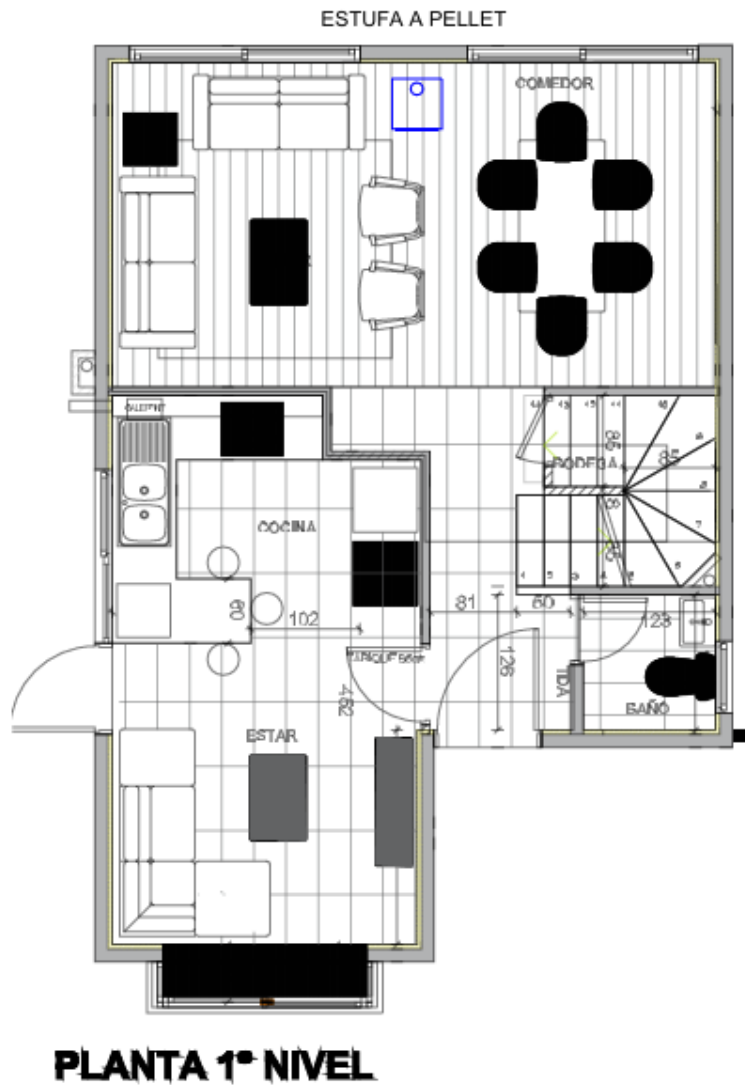


Figura 63: Ubicación de Estufa a Pellet.

Fuente: Elaboración propia

2. Costo de operación mensual

Inversión							8 hrs_ Operación Costo operación mensual
Sistema	Inversión	Equipo generador	Cantidad	Recintos	Mts2 Totales	Tipología equipo	
Bomba de Calor	\$ 5.325.940		1	Dormitorio	6 - 15 mts	1	\$ 259.000
			1	Dormitorio	6 - 15 mts	2	\$ 246.700
			1	Dormitorio	6 - 15 mts	2	\$ 229.240
			2	Living - Comedor	16 - 40 mts	2	\$ 259.000
			1	Cocina	6 - 15 mts	1	\$ 313.000
		Bomba de Calor	1	N/A	N/A	N/A	\$ 3.760.000
Aire Acondicionado	\$ 965.000		0	Piezas	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Baños	0 - 5 mts		\$ 250.000
			0	Living - Comedor	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Cocina	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Living	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Vestidor	6 - 15 mts		\$ 250.000
		Aire Acondicionado	1	N/A	N/A	N/A	\$ 965.000
Estufa Pellet	\$ 1.450.000		0	Piezas	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Baños	0 - 5 mts		\$ 250.000
			0	Living - Comedor	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Cocina	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Living	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Vestidor	6 - 15 mts		\$ 250.000
		Estufa Pellet	1	N/A	N/A	N/A	\$ 1.450.000

Figura 64: Tabla de costo operacional mensual.

Fuente: Elaboración propia

- Para el cálculo de la operación mensual para cada equipo fue el siguiente:

Bomba de calor aire agua

I. \$353 kw eléctrico * 8 horas de uso diario * 30 días del mes = **\$84.720**

Aire Acondicionado

II. \$479 kw eléctrico * 8 horas de uso diario * 30 días del mes = \$114.960

Estufa a Pellet

III. \$377 kgp/h * 8 horas de uso diario * 30 días del mes = \$90.480

- Parámetros de comparación para el análisis de inversión con distribución por recintos:

1. Costo de inversión inicial (equipos + instalación).

Inversión							
Sistema	Inversión	Equipo generador	Cantidad	Recintos	Mts2 Totales	Tipología equipo	Costo
Bomba de Calor	\$ 5.325.940		1	Dormitorio	6 - 15 mts	1	\$ 259.000
			1	Dormitorio	6 - 15 mts	2	\$ 246.700
			1	Dormitorio	6 - 15 mts	2	\$ 229.240
			2	Living - Comedor	16 - 40 mts	2	\$ 259.000
			1	Cocina	6 - 15 mts	1	\$ 313.000
		Bomba de Calor	1	N/A	N/A	N/A	\$ 3.760.000
Aire Acondicionado	\$ 1.202.000		0	Piezas	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Baños	0 - 5 mts		\$ 250.000
			0	Living - Comedor	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Cocina	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Living	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Vestidor	6 - 15 mts		\$ 250.000
		Aire Acondicionado	2	N/A	N/A	N/A	\$ 601.000
Estufa Pellet	\$ 1.966.200		0	Piezas	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Baños	0 - 5 mts		\$ 250.000
			0	Living - Comedor	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Cocina	16 - 40 mts		\$ 300.000
			0	Living	6 - 15 mts		\$ 300.000
			0	Vestidor	6 - 15 mts		\$ 250.000
		Estufa Pellet	2	N/A	N/A	N/A	\$ 983.100

Figura 65: Tabla de costos de inversión inicial

Fuente: Elaboración propia

- Ubicación en planta de los equipos de calefacción:

Bomba de calor aire agua

Para esta segunda comparativa base según el cálculo de demanda térmica de la vivienda tipo y con distribución por recinto, se debe instalar una Bomba de Calor de 6kw térmicos, los cuales son distribuidos en 5 recintos simultáneamente a través de radiadores de alta eficiencia. La ubicación de estos elementos de calefacción se pueden apreciar en las siguientes imágenes:

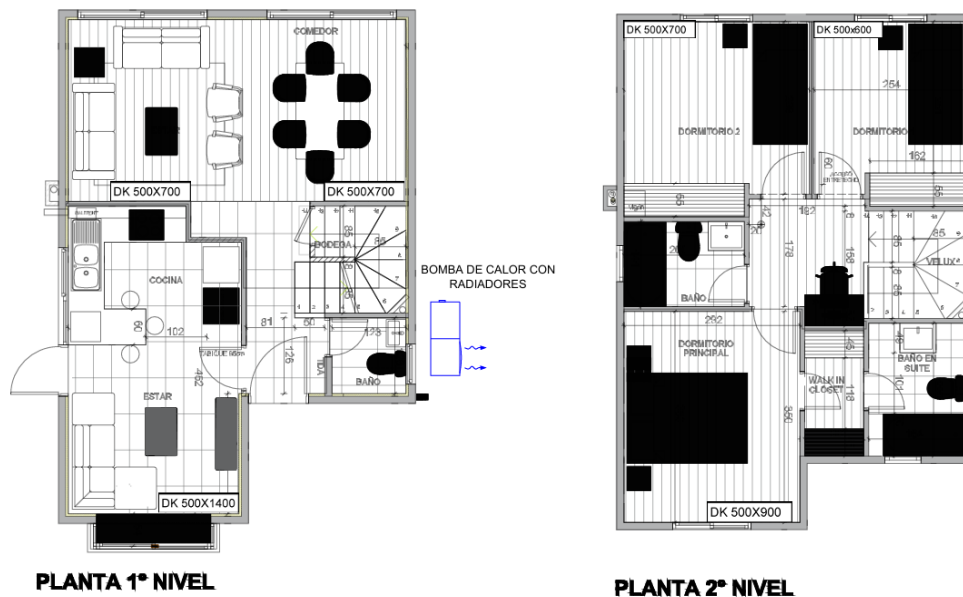


Figura 66: Ubicación de Bomba de Calor con 5 Radiadores.

Fuente: Elaboración propia

Aire Acondicionado

Para esta segunda comparativa base según el cálculo de demanda térmica de la vivienda tipo y con distribución por recinto, se deben instalar dos equipos de Aire Acondicionado donde ambos suman 6,45 kw térmicos, los cual se puede apreciar en la siguiente imagen:

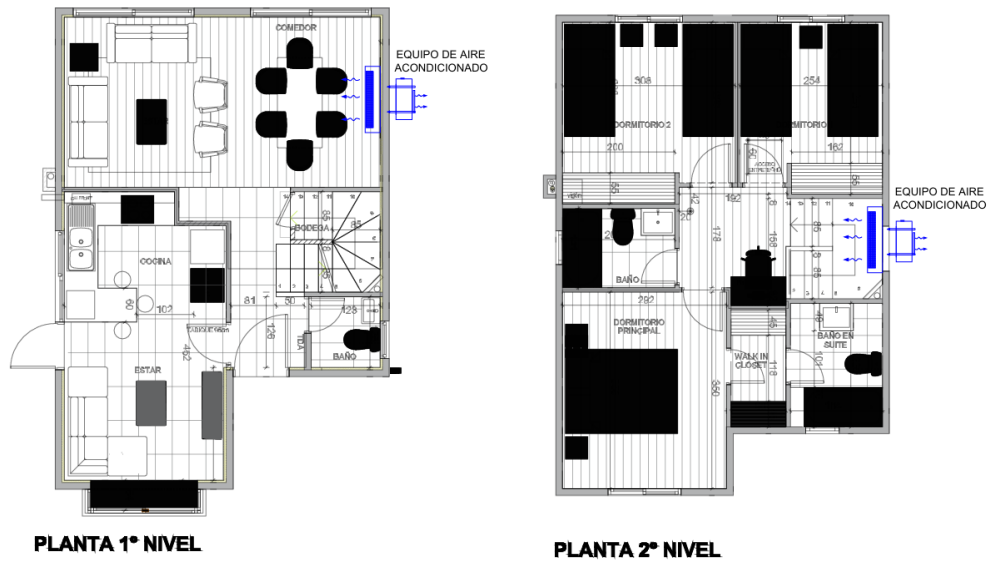


Figura 67: Ubicación de equipos de Aire Acondicionado.

Fuente: Elaboración propia

Estufa a Pellet

Para esta segunda comparativa base según el cálculo de demanda térmica de la vivienda tipo y con distribución por recinto, se deben instalar dos Estufas a Pellet donde ambas suman 5,84 kw térmicos, las cual se pueden apreciar en la siguiente imagen:

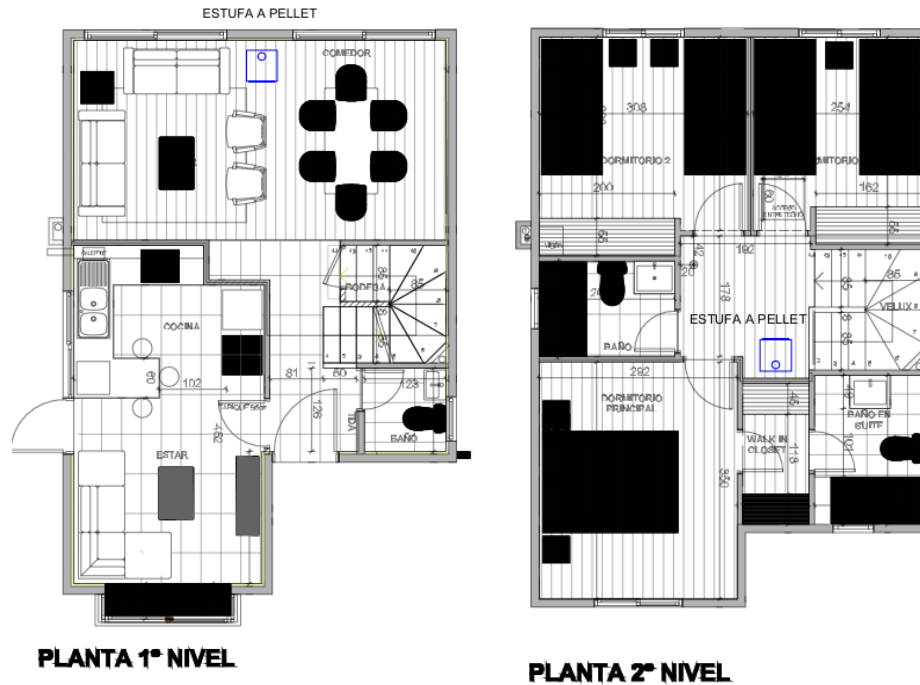


Figura 68: Ubicación de Estufas a Pellet.

Fuente: Elaboración propia

2. Costo de operación mensual

Inversión								8 hrs. Operación
Sistema	Inversión	Equipo generador	Cantidad	Recintos	Mts2 Totales	Tipología equipo	Costo	Costo operación mensual
Bomba de Calor	\$ 5.325.940		1	Dormitorio	6 - 15 mts	1	\$ 259.000	\$ 84.720
			1	Dormitorio	6 - 15 mts	2	\$ 246.700	
			1	Dormitorio	6 - 15 mts	2	\$ 229.240	
			2	Living - Comedor	16 - 40 mts	2	\$ 259.000	
			1	Cocina	6 - 15 mts	1	\$ 313.000	
		Bomba de Calor	1	N/A	N/A	N/A	\$ 3.760.000	
Aire Acondicionado	\$ 1.202.000		0	Piezas	6 - 15 mts		\$ 300.000	\$ 124.800
			0	Baños	0 - 5 mts		\$ 250.000	
			0	Living - Comedor	16 - 40 mts		\$ 300.000	
			0	Cocina	16 - 40 mts		\$ 300.000	
			0	Living	6 - 15 mts		\$ 300.000	
			0	Vestidor	6 - 15 mts		\$ 250.000	
		Aire Acondicionado	2	N/A	N/A	N/A	\$ 601.000	
Estufa Pellet	\$ 1.966.200		0	Piezas	6 - 15 mts		\$ 300.000	\$ 180.960
			0	Baños	0 - 5 mts		\$ 250.000	
			0	Living - Comedor	16 - 40 mts		\$ 300.000	
			0	Cocina	16 - 40 mts		\$ 300.000	
			0	Living	6 - 15 mts		\$ 300.000	
			0	Vestidor	6 - 15 mts		\$ 250.000	
		Estufa Pellet	2	N/A	N/A	N/A	\$ 983.100	

Figura 69: Tabla de costo operacional mensual.

Fuente: Elaboración propia

- Para el cálculo de la operación mensual para cada equipo fue el siguiente:

Bomba de calor aire agua

I. $\$353 \text{ kw eléctrico} * 8 \text{ horas de uso diario} * 30 \text{ días del mes} = \$84.720$

Aire Acondicionado

- GES12ECO-INV-R32 de 11952 btu/h

El consumo eléctrico máximo según ficha técnica:

- 1195 btu/h / 3414 kw = 3,501 kw
- 3,501 kw térmicos / 3,5 cop = 1 kw eléctricos

Costo promedio según el consumo eléctrico por el valor del kw/hr en tarifa bt1 según boleta eléctrica para satisfacer la demanda térmica de la vivienda tipo:

i. $1 \text{ kw} * \$260 \text{ kwh} = \$260 \text{ kw/hr}$

II. $\$260 \text{ kw eléctrico} * 8 \text{ horas de uso diario} * 30 \text{ días del mes} = \$62.415 * 2 \text{ unidades} = \$124.800$

Estufa a Pellet

III. $\$377 \text{ kgp/h} * 8 \text{ horas de uso diario} * 30 \text{ días del mes} = \$90.480 * 2 \text{ unidades} = \$180.960$

4.3 Análisis comparativo PRI

Análisis de periodo de retorno de inversión a nivel global de la vivienda.

Comparación	Inversión	Ahorro mensual	PRI (Meses)	PRI (años)
Bomba de Calor v/s Aire Acondicionado	\$ 5.325.940	\$ 30.240	176	14,7
Bomba de Calor v/s Estufa Pellet	\$ 5.325.940	\$ 5.760	925	77,1

Tabla 1: Análisis de periodo de retorno de inversión a nivel global de la vivienda.

Fuente: Elaboración propia

Análisis de periodo de inversión con distribución por recintos.

Comparación	Inversión	Ahorro mensual	PRI (Meses)	PRI (años)
Bomba de Calor v/s Aire Acondicionado	\$ 5.325.940	\$ 40.080	133	11,1
Bomba de Calor v/s Estufa Pellet	\$ 5.325.940	\$ 96.240	55	4,6

Tabla 2: Análisis de periodo de inversión con distribución por recintos.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados evidencian que el **análisis a nivel global de la vivienda** entrega periodos de retorno prolongados, en particular en la comparación entre la bomba de calor y la estufa a pellet, donde el PRI supera los **77 años**, lo que en la práctica invalida su conveniencia bajo ese enfoque. En el caso de la comparación con el aire acondicionado inverter, el retorno es algo más favorable (**14,7 años**), aunque aún extenso considerando la vida útil esperada de los equipos.

Por otro lado, el **análisis con distribución por recintos** muestra un escenario radicalmente distinto: la bomba de calor logra ventajas económicas mucho más evidentes. Al compararla con el aire acondicionado inverter, el PRI se reduce a **11,1 años**, mientras que frente a la estufa a pellet los resultados son altamente favorables, con un retorno cercano a los **4,6 años**. Este segundo enfoque refleja con mayor realismo la operación práctica de los equipos, ya que considera el confort térmico distribuido en la vivienda tipo, lo que permite aprovechar de manera más eficiente la capacidad del sistema y, en consecuencia, obtener mayores ahorros operativos.

En síntesis, los resultados demuestran que la conveniencia económica de la bomba de calor se aprecia de forma limitada en un análisis global de la vivienda, pero se vuelve altamente competitiva cuando se evalúa en condiciones más cercanas al uso real. Este hallazgo refuerza la necesidad de **considerar metodologías de análisis basadas en la distribución térmica por recintos**, ya que entregan conclusiones más consistentes con el confort y con la viabilidad de inversión para el sector privado.

Síntesis y Conclusiones

Tabla comparativa de ventajas y desventajas después del análisis de calefacción en vivienda caso estudio:

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Bomba de calor aerotérmica	Alta eficiencia energética (COP > 3).	Alto costo en inversión inicial
	Funciona incluso con bajas temperaturas exteriores.	Requiere instalación especializada.
	Cero emisiones locales (no genera MP _{2,5}).	Dependencia de un suministro de energía eléctrica.
	Vida útil prolongada (15–20 años).	Menor conocimiento y difusión en el mercado chileno.
	Reduce significativamente la huella de carbono.	Puede requerir respaldo en condiciones extremas de frío.
	Puede cumplir doble función (frío/calor).	
	Programación de encendido y control de T° a distancia	
Aire acondicionado inverter	Compatible con energías renovables (fotovoltaica).	
	Bajo costo de inversión comparado con bomba de calor.	Vida útil algo menor (10–15 años).
	Tecnología reconocida por el PPDA	Dependencia de un suministro de energía eléctrica.
	Alta eficiencia energética (COP > 3).	Menor eficiencia estacional que la bomba de calor.
	Tecnología ampliamente difundida y conocida.	Menor capacidad para calefactar grandes volúmenes.
	Instalación más sencilla.	Menor eficiencia estacional que la bomba de calor.
	Alta eficiencia en climas templados.	
Estufa a pellet	Programación de encendido y control de T° a distancia	
	Puede cumplir doble función (frío/calor).	
	Tecnología reconocida por el PPDA.	Genera bajas emisiones locales de MP _{2,5} (aunque menores que la leña).
	Uso de biomasa como fuente renovable.	Requiere logística de compra y almacenamiento de pellet.
	Costo de inversión intermedio.	Mantenimiento diario (limpieza de cenizas y chimenea).
	Buena percepción social de “calor por fuego real”.	Menor comodidad operativa (carga manual del pellet).
		Dependencia de un suministro de energía eléctrica.
		Dependencia del precio y disponibilidad del pellet.

Tabla 1: Tabla comparativa de ventajas y desventajas después del análisis

El análisis comparativo de las tres tecnologías evaluadas permitió identificar que la **bomba de calor aerotérmica** representa la opción más conveniente en términos económicos cuando se considera la **distribución por recintos** de la vivienda tipo. Bajo este enfoque, su periodo de retorno de inversión frente a la estufa a pellet se reduce a aproximadamente **4,6 años**, lo que la convierte en una alternativa altamente competitiva para el sector privado. En contraste, los resultados globales sin distribución muestran periodos de retorno mucho más extensos, lo que refuerza la importancia de utilizar metodologías de análisis cercanas al uso real de la vivienda.

Asimismo, los resultados evidencian que la conveniencia económica de cada sistema es **sensible a la variación de los precios de la energía**, especialmente la electricidad y la biomasa. Cambios tarifarios significativos, la existencia o no de subsidios, y los patrones reales de uso de los equipos pueden alterar sustancialmente los periodos de retorno estimados. Esto implica que cualquier recomendación debe estar acompañada de análisis de sensibilidad que permitan anticipar escenarios futuros y reducir la incertidumbre en la toma de decisiones.

En términos de conexión con los objetivos generales de la tesis, este capítulo entrega evidencia concreta de que, además de su superior desempeño técnico y ambiental, la bomba de calor puede resultar económicamente viable bajo condiciones de operación adecuadas, consolidándose como una alternativa con alto potencial para complementar y eventualmente ampliar las tecnologías contempladas en el PPDA. Al mismo tiempo, al tratarse de una tecnología limpia, su incorporación permitiría reducir significativamente las emisiones locales de material particulado fino (MP_{2,5}),

respondiendo a la consigna central de disminuir la contaminación atmosférica en el Gran Concepción y avanzando hacia un modelo de calefacción más sostenible y saludable para la población.

Bibliografía

- Ministerio del Medio Ambiente. (2019). *Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica del Gran Concepción (PPDA)*. Santiago de Chile: MMA.
- Ministerio de Energía. (2021). *Guía de Calificación Energética de Viviendas (CEV)*. Gobierno de Chile.
- International Energy Agency (IEA). (2022). *The Future of Heat Pumps*. Paris: IEA.
- Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wiley.
- ASHRAE. (2017). *HVAC Systems and Equipment Handbook*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Mora, M., & Muñoz, P. (2020). *Eficiencia energética en el sector residencial chileno*. Revista de Energía y Medioambiente, 15(2), 45–62.

Linkografía

- Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2023). *Planes de Descontaminación Atmosférica*. Recuperado de: <https://mma.gob.cl/ppda>
- Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). (2023). *Normativa sobre calefactores y combustibles*. Recuperado de: <https://www.sec.cl>
- International Energy Agency (IEA). (2023). *Heat Pumps Tracking Report*. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/heat-pumps>
- Ministerio de Energía (Chile). (2023). *Calificación Energética de Viviendas (CEV)*. Recuperado de: <https://energia.gob.cl/cev>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10)*. Recuperado de: <https://www.who.int>