



consultoría energética . proyectos . software . I+D+i

19P005. Evaluación de Proyecto de Calefacción Distrital para las Ciudades
de Coyhaique y Puerto Williams

Informe de Avance nº1 para Coyhaique

Versión 4.0



Santiago, a 26 de julio de 2019

Magnere 1540, Oficina 702, Providencia, Santiago, Chile
Tel +56 2 2234 2484 · info@aguasol.cl · www.aguasol.cl









Contenido

1. NOMENCLATURA	15
2. PRESENTACIÓN	17
3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA COMUNA	18
3.1. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS	18
3.2. DESCRIPCIÓN DE ZONAS Y ACTIVIDADES	19
3.2.1. SECTOR RESIDENCIAL	20
3.2.2. SECTOR PRIVADO	20
3.2.3. SECTOR PÚBLICO	20
3.3. DESCRIPCIÓN URBANÍSTICA	20
3.4. CONDICIONANTES Y OPORTUNIDADES DEL PLAN REGULADOR COMUNAL	21
3.4.1. HITOS Y MAGNITUDES	21
3.4.2. ESTRUCTURACIÓN TERRITORIAL	21
3.4.2.1. Zonas de crecimiento	22
3.4.2.2. Estado actual de tramitación	24
3.5. CONDICIONANTES DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA	25
3.5.1. INTRODUCCIÓN	25
3.5.2. RESUMEN DE IMPLICACIONES	25
3.6. SUBSIDIOS A LA ENERGÍA	26
4. CARACTERIZACIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA	27
4.1. FUENTES DE CALOR RESIDUAL	27
4.2. GEOTERMIA	28
4.3. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA	31
4.4. BIOMASA	32
4.4.1. CONTEXTO	32
4.4.2. RECURSO	35
4.4.3. DISPONIBILIDAD Y TARIFAS	38
4.5. COMBUSTIBLES FÓSILES	38



4.6. ELECTRICIDAD	39
4.6.1. INTRODUCCIÓN	39
4.6.2. SISTEMA MEDIANO AYSÉN	41
4.6.3. COBERTURA	45
4.6.4. POTENCIAL DE GENERACIÓN	45
4.6.5. DISPONIBILIDAD Y TARIFAS	48
4.7. CONCLUSIONES	49
<u>5. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA</u>	<u>50</u>
5.1. GENERALIDADES	50
5.2. DENSIDAD DE DEMANDA	50
5.3. CONSUMIDORES SINGULARES	53
5.4. AFECTACIONES DEL PDA	61
5.5. DENSIDAD DE CONTAMINANTES	66
5.6. DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA	70
5.7. ESCENARIOS DE DEMANDA FUTURA	73
<u>6. ANÁLISIS DE BRECHAS PARA CONEXIÓN</u>	<u>75</u>
6.1. TÉCNICAS	75
6.2. SOCIO ECONÓMICAS	76
<u>7. DEFINICIÓN DEL PROYECTO DE CALEFACCIÓN DISTRITAL</u>	<u>81</u>
7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL	81
7.2. DEFINICIÓN E INDICADORES DEL FASEADO	82
7.3. CARACTERIZACIÓN DETALLADA DE LA DEMANDA POR FASES	88
7.4. UBICACIONES DE LAS CENTRALES	92
7.5. DISEÑO DE LA RED	93
7.6. ANÁLISIS ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN	96
7.6.1. PLANTEAMIENTO GENERAL SOBRE FUENTES Y TECNOLOGÍAS	96
7.6.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE GSHP VS BIOMASA TÉRMICA	103
7.6.2.1. Caracterización matemática de los sistemas	103
7.6.2.2. Caracterización de costos	105



7.6.2.2.1.	Costos de Inversión	106
7.6.2.2.2.	Costos de mantenimiento	106
7.6.2.3.	Simulación Energética del Sistema	107
7.6.2.4.	Comparativa Económica	109
7.7.	DISEÑO SISTEMA DE GENERACIÓN	111
7.7.1.	PARÁMETROS DEL SISTEMA	111
7.7.2.	RESULTADOS AMBIENTALES Y SOCIALES	113
7.7.3.	EVALUACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN	115
7.7.4.	ANÁLISIS DE EXPLOTACIÓN	116
7.7.4.1.	Hipótesis del Análisis	116
7.7.4.2.	Parámetros de Análisis	116
7.7.4.3.	Definición de Tarifas	118
7.7.4.4.	Estructura de Ingresos y Costos	120
7.7.5.	INDICADORES FINANCIEROS	122
8.	EVALUACIÓN SOCIAL (MIDESO)	123
8.1.	GENERALIDADES	123
8.2.	COYHAIQUE	123
8.2.1.	RESUMEN PRESUPUESTO DEL PROYECTO	124
8.2.2.	COMPONENTES Y COSTOS PROYECTO EVALUACIÓN SOCIAL	127
8.2.2.1.	CC = costo de construcción	128
8.2.2.2.	CM = costo de mantención anual	134
8.2.2.3.	CO = costo de operación anual	135
8.2.2.4.	CE = Costo de equipos	136
8.2.3.	EVALUACIÓN DE INDICADOR COSTO-EFICIENCIA A PRECIOS SOCIALES	142
8.2.3.1.	Resumen de la evaluación del proyecto	143
9.	PROYECCIÓN DE OFERTA DE ENERGÍA	144
9.1.	INTRODUCCIÓN	144
9.2.	GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA EÓLICA	144
9.3.	ENERGÍA SOLAR	145
9.4.	ENERGÍA HIDRÁULICA	146
9.5.	ENERGÍA DE BIOMASA	146



10. BIBLIOGRAFÍA

149



Índice de Tablas

Tabla 1. Factores que tipifican la comuna. Fuente: [2].	21
Tabla 2. Poder calorífico y contenido de cenizas de las especies presentes en la Comuna de Coyhaique. Fuente: [9]	36
Tabla 3. Biomasa según componentes y distancia a Coyhaique. Fuente: [9].	37
Tabla 4. Número de trabajadores para cada modelo evaluado considerando los procesos de corta, saca y transporte de fuste. Fuente: [9].	37
Tabla 5. Adecuación de proyectos según densidad térmica. Fuente: [14]	51
Tabla 6. Resultados numéricos para la comuna de Coyhaique.	53
Tabla 7. Tipologías de consumos singulares	54
Tabla 8. Resumen de potencia y consumo anual para edificios singulares.	54
Tabla 9. Distribución de potencia y demanda por tipología de uso	59
Tabla 10. Límites de emisión de MP10 para calderas existentes en Coyhaique	61
Tabla 11. Resumen de aplicación del PDA en las calderas de edificios singulares.	62
Tabla 12. Densidad de contaminantes por tipo de edificación.	66
Tabla 13. Niveles de contaminación en Coyhaique	67
Tabla 14: Superficie construida actualmente por tipología simulada	73
Tabla 15: Superficie construida bajo condiciones de reacondicionamiento térmico por tipología simulada	74
Tabla 16. Tabla resumen de parámetros técnicos de la red de Coyhaique por Fases	84
Tabla 17. Tabla resumen de parámetros ambientales y sociales de la red de Coyhaique por Fases.	86
Tabla 18 Resumen de extensión de fases en estudio y la superficie involucrada.	91
Tabla 19. Resumen extensión de red en cada fase.	96
Tabla 20. Análisis comparativo de generación de calor y electricidad mediante procesos de gasificación	100
Tabla 21. Comparativa de potencial de ingresos por soluciones tecnológicas	102
Tabla 22. Coeficientes de correlación para COP y Q.	105
Tabla 23 Valores para el cálculo de costos asociados a la inversión Fuente: Elaboración propia.	106
Tabla 24 Costos de mantenimiento en función de la potencia (X) Fuente: elaboración propia	106
Tabla 25. Análisis económico comparativo del GSHP vs biomasa térmica	109
Tabla 26. Parámetros de diseño por fases.	111
Tabla 27. Parámetros generales por Centrales.	113
Tabla 28. Principales indicadores ambientales y sociales	114



Tabla 29. Estimación de costos por fases (no agregado) de implementación del sistema distrital .	115
Tabla 30. Parámetros de análisis	116
Tabla 31. Parámetros financieros (julio 2019)	117
Tabla 32. Análisis de factura energética actual.....	119
Tabla 33. Propuesta de tarifas	119
Tabla 34. Distribución de ingresos.....	120
Tabla 35. Distribución OPEX	120
Tabla 36. Distribución CAPEX.....	120
Tabla 37. Presupuesto Inversiones Proyecto Coyhaique	124
Tabla 38. Presupuesto Costos de Mantenimiento Proyecto Coyhaique	125
Tabla 39. Presupuesto Costos de Operación Proyecto Coyhaique	126



Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación de la comuna de Coyhaique. Fuente: [1].	18
Ilustración 2. Recorte PRC destacadas zonas de expansión ZR5-ZR6-ZR7	22
Ilustración 3. Sensibilización costos de energía para HP con calor residual a 25°C con el costo de la electricidad	27
Ilustración 3. Comparación del uso de bombas geotérmicas en TJ/año para los años 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015. [68]	29
Ilustración 4. Evolución genérica de los COP hasta 2008 ^[62]	30
Ilustración 5. Comparativa COP proyectado con límite de Carnot ^[62]	30
Ilustración 6. Diagrama conceptual del Complejo Integral de Biomasa en Aysén (Proyecto CIBA. SEREMI Energía Aysén)	33
Ilustración 7. Posible ubicación de planta de tratamiento y acopio de biomasa.	34
Ilustración 8. Caracterización general de la biomasa en la Comuna de Coyhaique. Fuente: [9]	35
Ilustración 9. Valor energético y contenido de cenizas de las especies presentes en la Comuna de Coyhaique. Fuente: [9]	36
Ilustración 10 Consumo de combustibles derivados del petróleo por sector. Fuente: [7]	39
Ilustración 11: Sistemas Medianos (SSMM) y Aislados de la Región de Aysén. Fuente [7]	40
Ilustración 12: Potencia instalada en los sistemas medianos (MW y %) y la distribución % de las Tecnologías. Fuente: [7]	41
Ilustración 13: Tabla con detalle de capacidad instalada en SSMM de región de Aysén. Fuente: [7]	41
Ilustración 14: Esquema del SSMM Aysén. Fuente: [11]	42
Ilustración 15: Líneas de transmisión del SSMM Aysén. Fuente: [12]	43
Ilustración 16. Tarifa residencial sistemas medianos de Aysén en comparación al nacional. Fuente:[7]	44
Ilustración 17: Imagen del Explorador Solar del Ministerio de Energía	46
Ilustración 18: Tabla con potencial teórico bruto hidroeléctrico de la región [7].	47
Ilustración 19: Superficie de bosque nativo por región (Derecha) y Mega Watt Eléctrico generado en base a biomasa por región (Izquierda). Fuente: [7]-[13]	48
Ilustración 20. Mapa general de demanda de calor Coyhaique	52
Ilustración 21. Distribución de potencia de acuerdo con el uso de edificios singulares	58
Ilustración 22 Distribución de consumo anual de acuerdo con el uso de los edificios singulares.	59
Ilustración 23. Mapa de densidades de demanda y consumidores singulares por volumen de demanda y tipología de uso	60



Ilustración 24. Mapa de densidades de demanda y consumidores singulares según su afectación por el PDA	65
Ilustración 25. Mapas de emisiones PM _{2,5} por manzana según modelo (ver anexo de cartografía para detalle)	68
Ilustración 26. Mapas de emisiones PM _{2,5} por manzana según modelo (ver anexo de cartografía para detalle)	69
Ilustración 27. Mapa de Densidad de Potencia por manzana, Coyhaique (ver anexo de cartografía para detalle)	70
Ilustración 28. Mapa de Potencia por manzana, Coyhaique (ver anexo de cartografía para detalle)	71
Ilustración 29. Zona de Coyhaique con alta densidad poblacional	72
Ilustración 30: Reducción de demanda por tipología para Escenario 1.	74
Ilustración 31. ¿Cuáles de los siguientes tipos de artefactos para calentar agua por cañería se utilizan en esta vivienda? (N=18.468)	75
Ilustración 32. ¿Qué tipo de calefacción usa? (N=18.468)	75
Ilustración 33. Por un sistema de calefacción menos contaminante y que le haga sentir más confortable ¿Estaría dispuesto a pagar más dinero que lo que paga actualmente? (N=5.247)	76
Ilustración 34. ¿Por qué se cambiaría de su actual sistema de calefacción? (N=5.247)	77
Ilustración 35. Relación del hogar con la vivienda (N=18.468)	77
Ilustración 36. En esta vivienda ¿Cuáles de los siguientes artefactos utiliza para cocinar? (N=18.468)	78
Ilustración 37. ¿Usted conoce o ha oído hablar del sistema de calefacción distrital? (N=18.468)	78
Ilustración 38 ¿Cuán interesado estaría de cambiar su actual sistema de calefacción? (N=18.468)	79
Ilustración 39. ¿Por qué NO se cambiaría de su actual sistema de calefacción? (N=13.501)	79
Ilustración 40. ¿Cuán dispuesto estaría de incorporar un sistema de calefacción a través de cañerías y radiadores en su hogar? (N=18.468)	80
Ilustración 41. Detalle del mapa de demandas y consumidores singulares	82
Ilustración 42. Definición de zonas a cubrir en cada una de las fases de desarrollo.	83
Ilustración 43. Evolución del número de viviendas por años	85
Ilustración 44. Evolución de la energía suministrada por años	85
Ilustración 45. Evolución de la potencia instalada y la energía suministrada por años y tecnologías	86
Ilustración 46. Evolución de las emisiones de PM ₁₀ anuales evitadas por años	87
Ilustración 47. Evolución de las emisiones de CO ₂ anuales evitadas por años	87
Ilustración 48. Potencia horaria de la Fase 0 de desarrollo de Coyhaique en base a la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y las pérdidas térmicas. Fuente: Elaboración propia.	88



Ilustración 49. Potencia horaria de la Fase 1 de desarrollo de Coyhaique en base a la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y las pérdidas térmicas. Fuente: Elaboración propia.	89
Ilustración 50. Potencia horaria de la Fase 2 de desarrollo de Coyhaique en base a la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y las pérdidas térmicas. Fuente: Elaboración propia.	89
Ilustración 51. Potencia horaria de la Fase 3 de desarrollo de Coyhaique en base a la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y las pérdidas térmicas. Fuente: Elaboración propia.	90
Ilustración 52. Potencia horaria de la Fase 4 de desarrollo de Coyhaique en base a la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y las pérdidas térmicas. Fuente: Elaboración propia.	90
Ilustración 53. Monótona de demanda de Coyhaique en base a la potencia y la hora bajo potencia. Fuente: Elaboración propia.	91
Ilustración 54. Potenciales ubicaciones de las Centrales Térmicas	92
Ilustración 55. Mapa de manzanas definidas para el diseño de la fase 0 de la red distrital en Coyhaique	94
Ilustración 56. Mapa de manzanas definidas para el diseño de la fase 1 de la red distrital en Coyhaique	94
Ilustración 57. Mapa de manzanas definidas para el diseño de la fase 2 de la red distrital en Coyhaique	95
Ilustración 58. Mapa de manzanas definidas para el diseño de la fase 3 de la red distrital en Coyhaique	95
Ilustración 59. Mapa de manzanas definidas para el diseño de la fase 4 de la red distrital en Coyhaique	96
Ilustración 60. Costos energía en Coyhaique (Fuente: Elaboración propia en base a datos y suministradores)	97
Ilustración 61. Calderas de biomasa con apoyo de caldera de gas natural o GLP	98
Ilustración 62. Cogeneración con turbina de vapor condensada por una bomba de calor alimentada por la cogeneración o en balance con la red	99
Ilustración 63. Cogeneración con motores o turbinas de gas alimentados con syngas o biometano producidos a partir de biomasa	100
Ilustración 64. Calderas de biomasa con apoyo de caldera de gas natural o GLP	103
Ilustración 65. Balance energético del mix de tecnologías	108
Ilustración 66. Balance energético mensual	108
Ilustración 67. Sensibilización costos de energía para GSHP con el costo de la electricidad	110
Ilustración 68. Sensibilización costos de energía para HP con calor residual a 25°C con el costo de la electricidad	111
Ilustración 69. Ejemplo simulación horaria de demanda y aportes en Fase 1	113



Ilustración 70. Distribución de ingresos en valor presente	121
Ilustración 71. Distribución de OPEX en valor presente	121
Ilustración 72. Distribución de CAPEX en valor presente	122
Ilustración 73. Potencial de generación eólica en MWe según comuna en la región de Aysén. Fuente: [7]	145
Ilustración 74. Potencial hidroeléctrico en MWe según comuna en la región de Aysén. Fuente: [7].	146
Ilustración 75. Superficie de bosque nativo aprovechable con fines energéticos por región. Fuente: Política Energética – Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.	147
Ilustración 76. Potencial eléctrico del manejo del bosque nativo por región. Fuente: Política Energética – Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	148



1. NOMENCLATURA

ACS	Agua Caliente Sanitaria
BCG	Bombas de Calor Geotérmicas
CAPEX	Capital Expenditures (Inversión de Capital)
CDT	Corporación de Desarrollo Tecnológico
CIBA	Complejo Integral de Biomasa en Aysén
CLP	Peso Chileno
CNE	Comisión Nacional de Energía
CONAF	Corporación Nacional Forestal
DAAC	Derechos de Aprovechamiento de Aguas Consuntivos
DH	District Heating
ENAP	Empresa Nacional del Petróleo
ERNC	Energías Renovables No Convencionales
ESCO	Energy Services Companies
ET	Clima de Tundra
FNDR	Fondo Nacional de Desarrollo Regional
GLP	Gas Licuado de Petróleo
GLPL	Gas Natural Licuado
GORE	Gobierno Regional
GWh	Giga Watt hora
GSHP	Ground Source Heat Pump
Ha	Hectáreas
HP	Heat Pump
INACH	Instituto Antártico Chileno
INDAP	Instituto de Desarrollo Agropecuario
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
kW	Kilo Watt térmico
kWe	Kilo Watt eléctrico
LEC	Levelized Energy Cost (Costo Nivelado de Energía)
MAE	Modelo de Análisis Espacial
MW	Mega Watt térmico
MWe	Mega Watt eléctrico
MWh	Mega watt hora térmico
MWhe	Mega watt hora eléctrico
OGUC	Ordenanza General de Urbanismo y Construcción
OPEX	Operational Expenditures (Gastos Operativos)



PCI	Poder Calorífico Inferior
PDA	Plan de Descontaminación Atmosférica
PMGD	Pequeños Medios de Generación Distribuida
PPA	Power Purchase Agreement
PRC	Plan regulador
PRODESAL	Programa de Desarrollo Local
PW	Puerto Williams
SECPLAN	Secretaría Comunal de Planificación
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
SEREMI	Secretaría Regional Ministerial
SERVIU	Servicio de Vivienda y Urbanización
SSAA	Sistemas Aislados
SSMM	Sistemas Medianos
TIR	Tasa Interna de Retorno
TV	Turbina de Vapor Condensada
VAN	Valor Actual Neto
W	Watt



2. PRESENTACIÓN

El presente informe es parte de la segunda entrega del proyecto: “Evaluación de proyecto de calefacción distrital para las ciudades de Coyhaique y Puerto Williams” a través del cual se busca diseñar, evaluar y planificar la implementación de un gran sistema de calefacción distrital en la ciudad de Coyhaique y en la localidad de Puerto Williams, que abastezca de calefacción y agua caliente sanitaria a la totalidad de la población de cada ciudad.

Los objetivos específicos del trabajo son:

1. Determinar la oferta y demanda de energía para abastecer de calefacción y agua caliente sanitaria a las edificaciones de la ciudad de Coyhaique y la localidad de Puerto Williams.
2. Evaluar la pre-factibilidad técnica, económica y social de un sistema de calefacción distrital en la ciudad de Coyhaique y un sistema de calefacción distrital en la localidad de Puerto Williams.
3. Proponer actividades para la implementación del sistema de calefacción distrital en Coyhaique y Puerto Williams.
4. Apoyar en la formulación del proyecto piloto en zona de Escuela Agrícola, Coyhaique.

Este informe busca resolver los dos primeros objetivos en lo referente a Coyhaique y va acompañado de un documento de Anexos para facilitar su lectura y comprensión.



3. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LA COMUNA

3.1. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

La comuna de Coyhaique pertenece a la XI Región de Aysén General Carlos Ibáñez del Campo, contando con una superficie total de 7.290 [km²]. Ésta, se encuentra limitada al norte por la comuna de Lago Verde y la comuna de Cisnes, al oeste por la comuna de Aysén, al este por la República Argentina y, al sur, por la Comuna de Río Ibáñez.

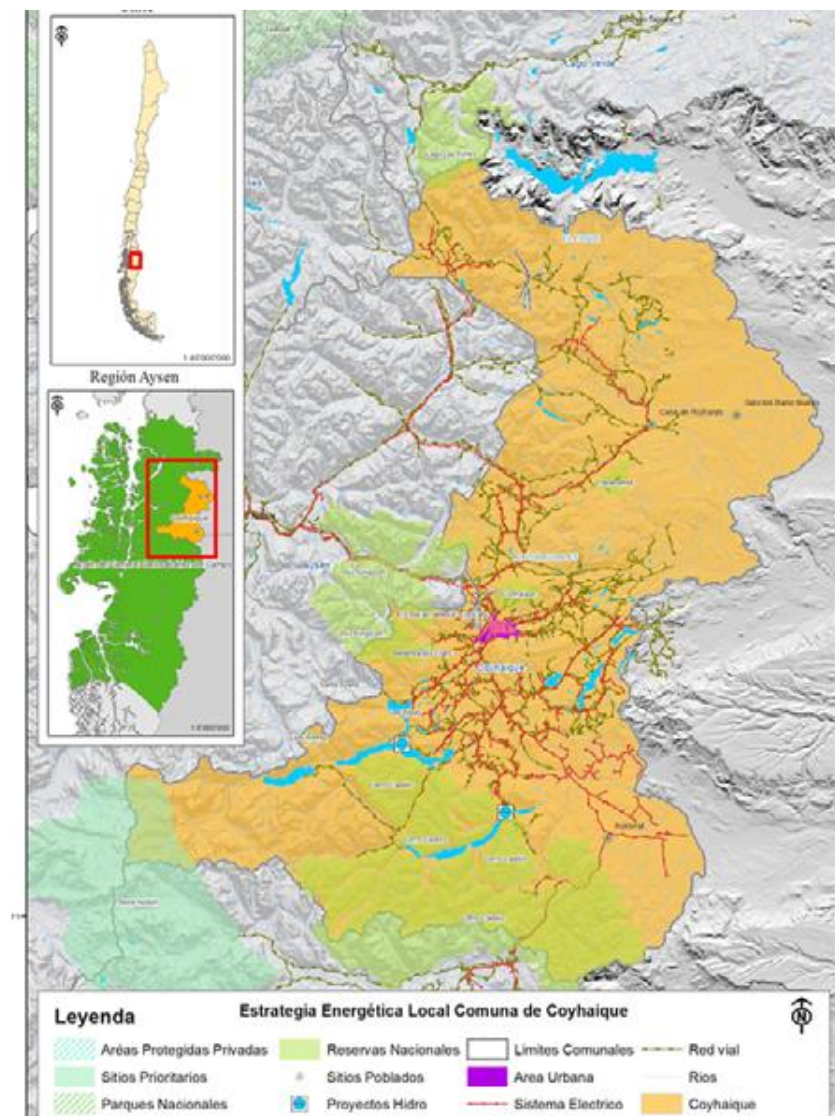


Ilustración 1: Ubicación de la comuna de Coyhaique. Fuente: [1].



Esta comuna, corresponde a la capital de la provincia de Coyhaique y de la región de Aysén, y se ubica geográficamente entre los 45°32' de latitud sur y 72°04' de longitud Oeste, a una altura media de 310 msnm, en el lugar donde confluyen los ríos Simpson y Coyhaique. Respecto a sus condiciones climáticas, la ciudad de Coyhaique registra una radiación efectiva promedio en invierno inferior a los 10 [kcal/m²], una precipitación anual entre los 800 a 1200 [mm] y una temperatura promedio anual que oscila en torno a los 8 y 9°C, lo cual exige una alta demanda de calefacción por parte de la población. En este contexto, se utiliza gas licuado principalmente para abastecer esta demanda y la biomasa (constituida fundamentalmente por la leña), es el segundo recurso con mayor participación en la matriz energética regional debido a su alto nivel de utilización para el suministro de calefacción. Debido a su latitud, las horas de luz diarias en la ciudad descienden significativamente en el periodo de invierno, lo que incrementa la demanda por iluminación, sumado a la demanda de calefacción, la cual rige durante 10 a 11 meses al año [1].

A causa de la alta demanda de calefacción en la ciudad y el uso de sistemas calefactores de baja eficiencia, el nivel de contaminación atmosférica ha alcanzado preocupantes cifras, donde la contaminación atmosférica por material particulado respirable (MP_{2,5} y MP₁₀) constituye uno de los mayores problemas ambientales y de salud pública en la ciudad, la cual ha presentado continuos episodios con peaks que superan a las ciudades con mayor contaminación a nivel mundial. Considera que más de un 90% de las emisiones de MP_{2,5} corresponden a las generadas por la calefacción de viviendas, y que entre las principales causas de dichas emisiones se encuentran los bajos niveles de aislación térmica, el uso de calefactores antiguos y la mala calidad del combustible.

3.2. DESCRIPCIÓN DE ZONAS Y ACTIVIDADES

Coyhaique concentra la mayoría de los servicios regionales, tanto público como privados, destacando los servicios de gobernación e intendencia, hospital regional, universidades, aeropuerto regional, principales hoteles, comercio, entre otros. Debido a sus principales condiciones geográficas y administrativas, la economía de Coyhaique se sustenta fundamentalmente de la agricultura, turismo, construcción, gestión forestal y los servicios públicos, donde la producción de energía no posee un papel significativo dentro de la economía local.

Complementando lo anterior, en este análisis se diferencian tres sectores principales: sector residencial, privado y público, los cuales se describen a continuación.



3.2.1.SECTOR RESIDENCIAL

El sector residencial de la comuna de Coyhaique se concentra fundamentalmente en Coyhaique urbano, y el resto entre 17 entidades rurales y tres aldeas existentes, donde la distribución de la población corresponde a un 90% en zonas urbanas y un 10% en zonas rurales [1].

3.2.2.SECTOR PRIVADO

El sector privado corresponde a todos aquellos sectores distintos al sector residencial y público, lo cual incluye a los sectores Comercial, Industrial, Agrícola, Transporte, Minero y Distribución, donde el comercio corresponde a la principal actividad dentro de este sector. Dos principales barreras que existen en la comuna de Coyhaique para la llegada de nuevas entidades de carácter privado son la distancia entre la ciudad y los puertos y los altos costos de operación en la zona, entre lo que destaca el alto costo de la electricidad. En general, la distancia de Coyhaique a los centros económicos de Chile y la mala conexión terrestre son limitantes importantes para el desarrollo de la economía local [1].

3.2.3.SECTOR PÚBLICO

El sector público dentro de la comuna de Coyhaique se constituye por instituciones relacionadas con la administración comunal y regional, educación, salud, seguridad, entre otros. Algunas de estas instituciones corresponden al: Hospital Regional de Coyhaique, Municipalidad de Coyhaique, Instituto Nacional de Estadísticas, Regimiento Reforzado 14 Aysén, Dirección Regional de Gendarmería Aysén, Estadio regional, Subsecretaría de Transportes, Servicio de Registro Civil e Identificación, Intendencia Regional, Edificio Militar, Universidad Austral, Secretarías Regionales Ministeriales de distintos servicios, entre otros.

3.3.DESCRIPCIÓN URBANÍSTICA

De acuerdo con el Censo 2017, la comuna de Coyhaique tiene una población total de 57.818 habitantes, de los cuales 28.763 son hombres y 29.055 mujeres; donde se ha registrado además un total de 23.990 viviendas [2]. En la siguiente ilustración se presenta un resumen de los principales factores que tipifican la comuna, lo cual fue realizado a partir de los resultados del Censo 2017. En esta, se puede observar las principales características de la población de Coyhaique como su densidad poblacional, edad promedio, número de viviendas, nivel de inmigración, nivel de escolaridad y características en el área laboral.



Tabla 1. Factores que tipifican la comuna. Fuente: [2].

Población		Vivienda		Hogar	
Densidad de población	7,94	Viviendas desocupadas	9%	Cantidad de hogares	19.612
Índice de masculinidad	99,0	Hacinamiento	8%	Viv. con más de 1 hogar	0%
Edad promedio	33,9	Red pública de agua	89%	Tamaño de hogares	2,8
Dependencia total	47,5	IM Aceptable	83%	Jefas de hogar	43%
Dependencia 0 a 14 años	34,4	IM Recuperable	16%	Hogares p. originarios	35%
Dependencia 65 o más años	13,1	IM Irrecuperable	1%	Hogares con migrantes	5%
Pueblos originarios	26%				
Paridez media	1,5				
Migración		Educación		Empleo	
Residentes habituales	56.823	Escolaridad jefe hogar	10,9	Declaran trabajar	67%
No migrantes int. (nacimiento)	60%	Asistencia ed. escolar	94%	Edad promedio	41,5
No migrantes int. (5 años)	85%	Asistencia a preescolar	60%	Mujeres	43%
Inmigrantes otro país	2%	Asistencia a ed. media	73%	Trabajan y estudian	8%
Índice masc. migrantes	75,1	Ingreso a ed. superior	30%	Escolaridad	11,8
Mig. reciente otro país	41%	Ed. superior terminada	84%	Sector primario	8%
Edad media migrantes	35,9	Esc. p. originarios	8,8	Sector secundario	3%
Escolaridad migrantes	11,2			Sector terciario	89%

3.4.CONDICIONANTES Y OPORTUNIDADES DEL PLAN REGULADOR COMUNAL

3.4.1.HITOS Y MAGNITUDES

El PRC habilita como urbanizable, en áreas de expansión, unas 414 Ha destinadas al uso de vivienda y equipamientos. Con esta ampliación se produce un incremento en suelo urbanizable para vivienda y equipamiento del orden del 21%.

3.4.2.ESTRUCTURACIÓN TERRITORIAL

En cuanto a la zonificación, el PRC apuesta claramente a mantener y ampliar la zona residencial y de servicio en la parte central sur de la ciudad, de mantener y consolidar la zona productiva- industrial y de consolidar los bordes de afluentes que tienen relación con la trama urbana consolidada.



3.4.2.1. ZONAS DE CRECIMIENTO

El nuevo PRC prevé unas macro áreas de expansión, son las áreas planificadas externas a las áreas consolidadas, capaces de recibir el crecimiento en extensión previsto para la localidad de Coyhaique, en los 30 años siguientes a la aprobación del Plan Regulador (2005). Define un crecimiento principalmente en el límite sur de la comuna, con incorporación de nuevas áreas en sentido nortesur asociados a cauces fluviales. A continuación, se repasa la distribución de usos que arrojan una demanda energética que puede tener interés para el futuro desarrollo del sistema de calefacción distrital.

El Plan define tres tipologías de áreas de expansión que permiten tanto el uso de vivienda como el uso para equipamientos.

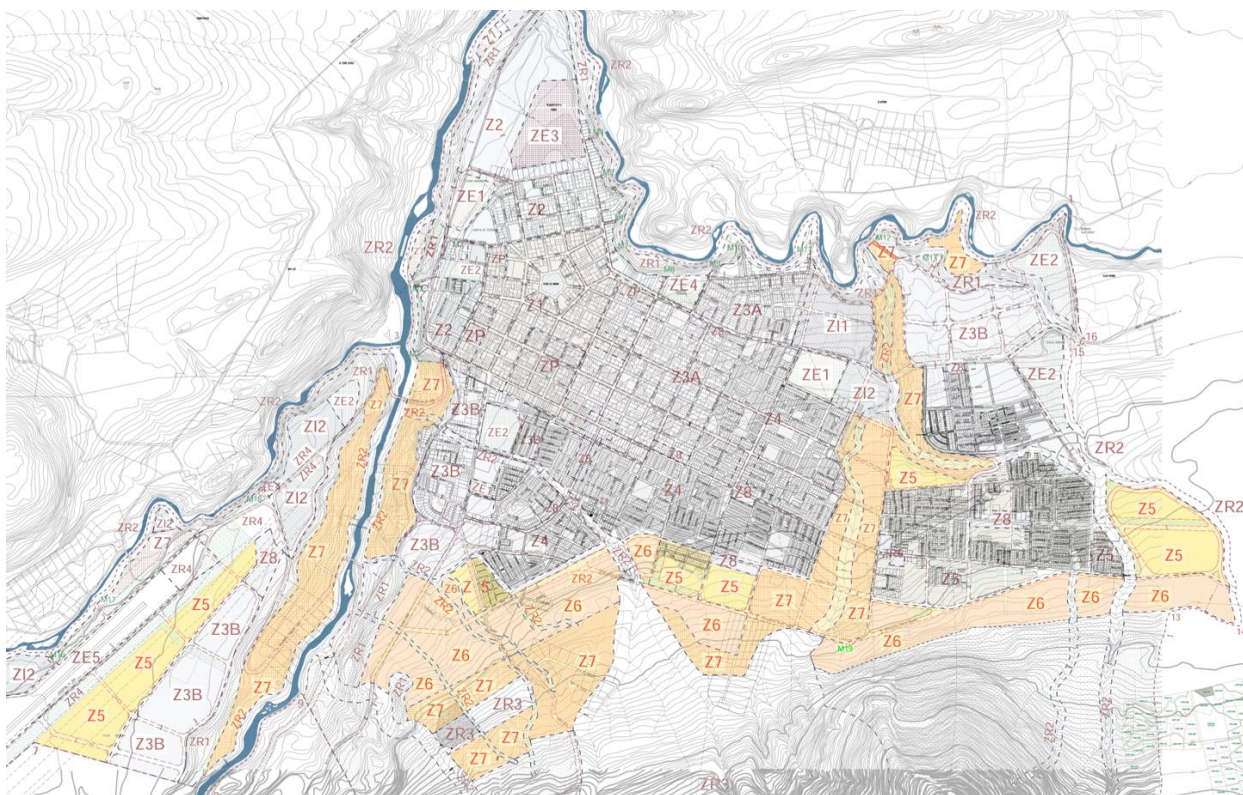


Ilustración 2. Recorte PRC destacadas zonas de expansión ZR5-ZR6-ZR7



FID	SECTOR	ZONA	SUPERFICIE	NOMBRE	USO	SUP.PREDIAL MÍN.	EDIFICABILIDAD	% MAX OCUP SUELO
10	Coyhaique	Z5	936.562,0	Z5 Zona de expansión de alta densidad	VIVIENDA - EQUIPAMIENTOS	160	2.0	60%
14	Coyhaique	Z5	74.626,7					
32	Coyhaique	Z5	64.432,8					
TOTAL Z5			1.075.622					645.373

FID	SECTOR	ZONA	SUPERFICIE	NOMBRE	USO	SUP.PREDIAL MÍN.	EDIFICABILIDAD	% MAX OCUP SUELO
2	Coyhaique	Z6	135.233,0	Z6 Zona de exp. en densidad media	VIVIENDA - EQUIPAMIENTOS	2.000	0.5	25%
34	Coyhaique	Z6	38.995,0					
33	Coyhaique	Z6	176.476,0					
5	Coyhaique	Z6	329.293,0					
6	Coyhaique	Z6	58572,5					
26	Coyhaique	Z6	127.911,0					
28	Coyhaique	Z6	213.090,0					
30	Coyhaique	Z6	70.286,0					
31	Coyhaique	Z6	66196,6					
13	Coyhaique	Z6	110.060,0					
TOTAL Z6			1.201.344					300.336

FID	SECTOR	ZONA	SUPERFICIE	NOMBRE	USO	SUP.PREDIAL MÍN.	EDIFICABILIDAD	% MAX OCUP SUELO
35	Coyhaique	Z7	19.307,7	Z7 Zona de expansión en restricción	VIVIENDA	5.000	0.2	10%
11	Coyhaique	Z7	4.802,7					
12	Coyhaique	Z7	321.853,0					
17	Coyhaique	Z7	269.679,0					
19	Coyhaique	Z7	50.821,9					
21	Coyhaique	Z7	40.269,7					
23	Coyhaique	Z7	49.235,1		EQUIPAMIENTO (EDUCACIONAL O SIMILAR)	2.000	0.5	25%
25	Coyhaique	Z7	59.595,2					
52	Coyhaique	Z7	29.614,9					
54	Coyhaique	Z7	11.514,8					
63	Coyhaique	Z7	122.021,0					
66	Coyhaique	Z7	69.927,4					
67	Coyhaique	Z7	46.960,9					
70	Coyhaique	Z7	89.795,6					
74	Coyhaique	Z7	444.483,0					
79	Coyhaique	Z7	71.925,0					
81	Coyhaique	Z7	166.990,0					
TOTAL Z7			1.868.797					186.880 Viviendas

Estas tres tipologías de diferencian por el tamaño mínimo del lote y por la edificabilidad en cada lote: cuanto más grande es el lote menos edificabilidad se le asigna. De esta forma, en términos generales, hay una densidad edificatoria decreciente hacia los perímetros de la ciudad. Se destaca las áreas de expansión asociadas a la consolidación de bordes fluviales o cauces naturales, por el hecho de estar aledañas a zonas consolidadas con mayor edificabilidad. Cabe resaltar que a menor densidad edificatoria (**Z5**) se tiene menor densidad de demanda energética.

Para las tres zonas de expansión se definen como usos permitidos equipamientos de escala regional, comunal o vecinal, en el caso de la zona **Z7**, cuando este equipamiento sea educacional o similar, se contempla el aumento de las condiciones edificatorias equiparándolas a la zona **Z6**. (de mayor densidad edificatoria).

En el PRC se define las siguientes zonas destacables: En el sector sur poniente, aledaño al aeródromo, se prevén usos residenciales del tipo **Z5**, es decir de alta densidad, en un total de 3 macro islas que acaban de completar el sector urbanizable entre el aeródromo y el Río Simpson. (en este sector se encuentra también la zona aún por consolidar definida como **Z3B** con índices de alta densidad edificatoria.)

En el sentido norte sur, borde fluvial del Río Simpson, se prevén franjas de baja densidad del tipo **Z7** para todo el cauce del río hasta el sector norte, confluencia del Río Claro.



En la franja sur del límite urbano de la comuna, bordeando el Cerro MacKay se prevén zonas de baja densidad del tipo **Z7** y de media densidad tipo **Z6**, se incluyen también zonas de alta densidad (**Z5**) para sectores ya contruidos, aledaños a la trama urbana consolidada, que se incorporan al planeamiento (Sector al sur de la Av. Divisadero)

En el sentido norte sur, asociado al cauce fluvial, afluente del Río Coyhaique, se prevén zonas en ambos lados del cauce, de baja densidad, del tipo **Z7** que se extienden desde las faldas del cerro MacKay hasta el mismo Río Coyhaique

Por último, en el límite sur poniente de la comuna, se prevé una zona de alta densidad del tipo Z5 que acaba por completar la trama urbana consolidada extendiéndola hasta el Torrente el Carbón.

En cuanto a las edificaciones singulares, está previsto construir una nueva terminal de autobuses que podrá atender a más de 350.000 y fortalecer el rol turístico de la ciudad.

Se están realizando los estudios para la renovación del Hospital Regional de Coyhaique. Como también la construcción de un nuevo CESFAM, con superficie mayor a 3.400 m².

Especial atención a los estudios de Urbanización macro infraestructura “Chacra G” en Coyhaique: Comprende el diseño de las obras de urbanización, para factibilidad alrededor de 33 hectáreas, con el objetivo de dar cabida a los comités de viviendas de la ciudad de Coyhaique, además de la segunda etapa, que corresponde a la ejecución de obras para brindar una solución habitacional a más de 800 familias. Sector que se encuentra fuera del límite urbano de la comuna y que no recoge el PRC.

3.4.2.2. ESTADO ACTUAL DE TRAMITACIÓN

El Plan Regulador Comunal de Coyhaique (PRC) ha sido publicado en el DO en octubre del año 2011 y se encuentra vigente, se le añaden las modificaciones descritas en la ordenanza que no han sido publicadas en el DO pero que se encuentran publicadas en la web de la Municipalidad a modo informativo.

COMUNA => COYHAIQUE											
	AÑO	PROVINCIA	COMUNA	UNIDAD TECNICA	CODIGO	NOMBRE	ETAPA	SECTOR	SUBSECTOR	ASIGNADO	GASTO ACTUAL
P	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	SEREMI DE MEDIO AMBIENTE REGION DE AISEN	3303253	SEREMI DE MEDIO AMBIENTE - TRANSFERENCIA REGAMBIO ARTEFACTOS A LEÑA EN ZONA SATURADA COYHAIQUE (30356377-0)	EJECUCION	MULTISECTORIAL	MEDIO AMBIENTE	\$ 2.279.045.000	\$ 2.026.533.264
P	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	GOBIERNO REGIONAL - REGION DE AISEN DEL GRAL. CARL.	30063915	CONSTRUCCION ELECTRIFICACION RURAL NACIMIENTO RIO SIMPSON	EJECUCION	ENERGIA	DISTRIBUCION Y CONEXION FINAL USUARIOS	\$ 4.561.000	\$ 0
P	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	VIALIDAD MOP REGION DE AISEN DEL GENERAL CARLOS IBANEZ DEL CAMP	30077144	MEJORAMIENTO RUTA 7: SECTOR CRUCE RUTA 240 VILLA ORTEGA	EJECUCION	TRANSPORTE	TRANSPORTE CAMINERO	\$ 599.095.000	\$ 597.094.211
P	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	ARQUITECTURA MOP XI REGION DE AISEN	30081093	RESTAURACION MONUMENTO NACIONAL CONSTRUCCIONES SOC. INDUSTRIAL AISEN	EJECUCION	EDUCACION Y CULTURA	ARTE Y CULTURA	\$ 241.717.000	\$ 133.785.969
P	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	ARQUITECTURA MOP XI REGION DE AISEN	30113077	REPOSICION HOSPEDERIA HOGAR DE CRISTO, COYHAIQUE	EJECUCION	MULTISECTORIAL	ASISTENCIA Y SERVICIO SOCIAL	\$ 12.365.000	\$ 12.364.100
P	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	ARQUITECTURA MOP XI REGION DE AISEN	30129537	CONSTRUCCION PARQUEADERO DE CAMIONES CIUDAD DE COYHAIQUE	DISEÑO	TRANSPORTE	TRANSPORTE URBANO,VIALIDAD PEATONAL	\$ 1.000	\$ 0
P	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	MUNICIPALIDAD DE COYHAIQUE	30136473	CONSTRUCCION ELECTRIFICACION RURAL SECTOR EL RICHARD	EJECUCION	ENERGIA	DISTRIBUCION Y CONEXION FINAL USUARIOS	\$ 11.110.000	\$ 0
P	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	ARQUITECTURA MOP XI REGION DE AISEN	30137344	REPOSICION TERMINAL DE BUSES DE COYHAIQUE	EJECUCION	TRANSPORTE	TRANSPORTE URBANO,VIALIDAD PEATONAL	\$ 1.133.723.000	\$ 0



COMUNA => COYHAIQUE											
	AÑO	PROVINCIA	COMUNA	UNIDAD TÉCNICA	CODIGO	NOMBRE	ETAPA	SECTOR	SUBSECTOR	ASIGNADO	GASTO ACTUAL
	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	VIALIDAD MOP REGION DE AISEN DEL GENERAL CARLOS IBAÑEZ DEL CAMP	30231173	MEJORAMIENTO CAMINOS VARIOS EN COMUNA DE COYHAIQUE	DISEÑO	TRANSPORTE	TRANSPORTE CAMINERO	\$ 73.342.000	\$ 73.341.827
	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	MUNICIPALIDAD DE COYHAIQUE	30294923	CONSTRUCCION ELECTRIFICACIÓN RURAL SECTOR CERRO HUEMULES, COYHAIQUE.	EJECUCION	ENERGIA	DISTRIBUCION Y CONEXION FINAL USUARIOS	\$ 6.137.000	\$ 2.887.744
	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	MUNICIPALIDAD DE COYHAIQUE	30347279	CONSTRUCCION MULTICANCHA DE PASTO SINTÉTICO POBLACIÓN ARTURO PRAT	EJECUCION	MULTISECTORIAL	DESARROLLO URBANO	\$ 61.976.000	\$ 61.974.772
	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	ARQUITECTURA MOP XI REGION DE AISEN	30348584	REPOSICION ESTADIO ATLÉTICO DE COYHAIQUE	EJECUCION	DEPORTES	DEPORTE FORMATIVO	\$ 781.852.000	\$ 403.815.618
	2019	COYHAIQUE	COYHAIQUE	MUNICIPALIDAD DE COYHAIQUE	30366278	CONSTRUCCION GRADERÍAS FACHADAS Y OTROS ESTADIO MUNICIPAL DE COYHAIQ	DISEÑO	DEPORTES	DEPORTE RECREATIVO	\$ 0	\$ 0

3.5.CONDICIONANTES DEL PLAN DE DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

3.5.1.INTRODUCCIÓN

La comuna de Coyhaique y su zona circundante fueron declaradas zonas saturadas por MP10, como concentración diaria y anual, mediante decreto supremo N° 33, de 2012, del Ministerio de Medio Ambiente. Posteriormente, mediante resolución exenta N° 426, de 2013, se dio inicio al proceso de elaboración del plan de descontaminación atmosférica [3,4,5], que tiene como objetivo dar cumplimiento a la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10, en un plazo de 10 años. Mediante Decreto 46, se establece el Plan de Descontaminación Atmosférica para la ciudad de Coyhaique y su zona circundante, vigente desde el 28 de marzo de 2016, reemplazando así el DS 33 de 2012. A su vez, la comuna y su zona circundante fue declarada zona saturada por MP2,5 en el Decreto Supremo N°15, de 2016, del Ministerio del Medio Ambiente. Por otra parte, el 17 de Julio de 2019 se aprobó un nuevo Plan de Descontaminación en la localidad de Coyhaique.

3.5.2.RESUMEN DE IMPLICACIONES

En el Anexo “Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para Coyhaique”, se presenta un resumen procesado del plan de descontaminación atmosférica por MP10. A continuación, se presentan las que se consideran las principales implicaciones que pueden tener efecto sobre el desarrollo de proyectos de Calefacción Distrital.

- Problemática y objeto PMP10 es reducir las concentraciones de MP10 hasta la norma primaria de calidad del aire de 50 ug/m3 promedio anual, que representa una reducción del 40% de los índices actuales.
- MP10 proviene principalmente de calefacción domiciliaria, equivalente a un 94%
- Medidas sobre calefacción domiciliaria



- Sólo leña seca acorde a NCh2907 y con venta a través de comercializadores registrados.
- Se prohíbe el uso de chimeneas de hogar abierto en cualquier condición y el uso de calefactores a leña en el interior de edificios habitacionales, así como quemar cualquier cosa que no sea leña seca o briquetas.
- Recambio de calefactores y cocinas a leña que asciende a 10.000 en un plazo de 10 años.
- Medidas sobre el ahorro energético
 - Se establecen estándares técnicos para mejorar la aislación térmica en viviendas nuevas.
 - Se entregarán 7.000 subsidios para acondicionamiento térmico de viviendas existentes
- Sobre las fuentes estacionarias (calderas y hornos) se imponen plazos para el cumplimiento de límites de emisiones de MP10 según potencia, a partir de 75kW en calderas. Se impone también la obligación de instalar CEMS para potencias igual o mayores de 20MW
- Plan Operacional de Gestión de Episodios Críticos
 - entre el 1 de abril y 30 de septiembre de cada año
 - Restricciones sobre calefactores y cocinas, calderas de más de 20MWt y cualquier fuente que no hay acreditado sus emisiones

3.6. SUBSIDIOS A LA ENERGÍA

En la región de Aysén existe el “bono leña” que entrega 100.000 pesos anuales a cada familia para facilitar la compra de leña, aunque no se fiscaliza que éste sea utilizado realmente para ese uso.

Este bono es un beneficio no postulable que otorga \$100 mil hasta el 80% de las familias más vulnerables de la región de Aysén, según el Registro Social de Hogares¹. El dinero es para aliviar los gastos de calefacción durante el invierno.

Respecto a las familias que cumplan el requisito de vulnerabilidad, el Fondo de Solidaridad e Inversión Social (FOSIS) priorizará familias en las que haya una persona de la tercera edad, una persona con discapacidad o en la que la jefa de hogar sea una mujer.

¹ <https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/42344-registro-social-de-hogares>



4. CARACTERIZACIÓN DE FUENTES DE ENERGÍA

4.1. FUENTES DE CALOR RESIDUAL

En base a la información facilitada por la contraparte local (SEREMI Energía), la Municipalidad y el personal la SEREMI de Medio Ambiente entrevistados, no se han identificado fuentes de calor residual de aprovechamiento directo, esto es, con temperaturas superiores a la temperatura de retorno de la red.

También se ha descartado el uso como foco térmico de baja entalpía de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas por su baja temperatura y el alto costo relativo de la electricidad, que desaconseja el uso de bombas de calor si no se dispone de capacidad de autogeneración, tal como se demuestra en 7.6.2. Análisis Comparativo del Uso de GSHP vs Biomasa Térmica. A modo de conclusión, el gráfico siguiente muestra la sensibilización del costo de la energía y del período de retorno de un sistema de bomba de calor trabajando con calor residual a 25°C respecto a un sistema de biomasa térmica. Se puede observar que se requieren precios de electricidad mucho más bajos para lograr amortizaciones viables.

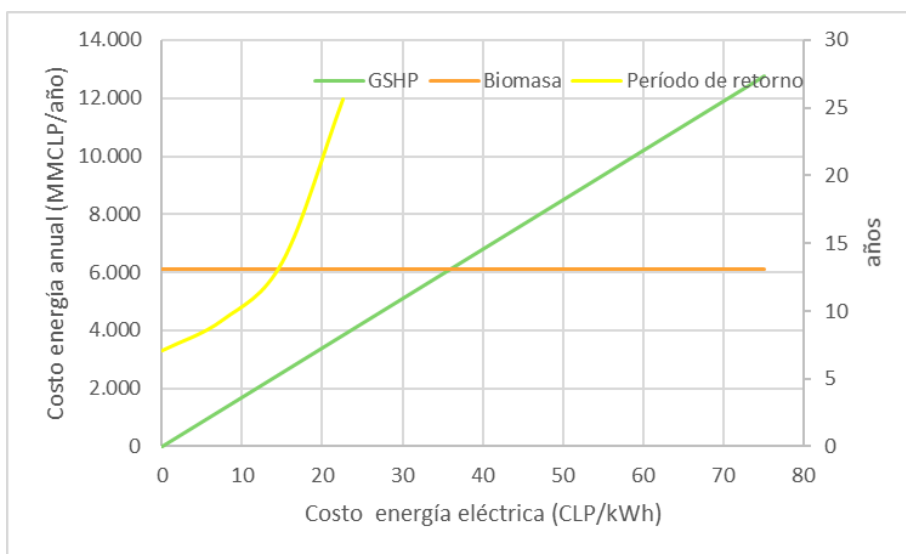


Ilustración 3. Sensibilización costos de energía para HP con calor residual a 25°C con el costo de la electricidad



4.2. GEOTERMIA

El aprovechamiento del calor contenido en la tierra es una costumbre ancestral que se ha ido perfeccionando a medida que ha evolucionado la tecnología y que se revolucionó con la introducción de la bomba de calor, con la cual, tal como su nombre indica, se hizo posible extraer energía de fuentes con niveles térmicos inferiores al nivel térmico de la demanda a cubrir.

La tierra brinda fuentes de calor de distinto nivel térmico, típicamente a distintas profundidades y en distintos formatos que van desde el calor más superficial, afectado de fenómenos estacionales y cercano a la temperatura media del lugar, hasta el vapor de alta temperatura.

La energía geotérmica se puede usar de forma directa para calefaccionar espacios como hogares e invernaderos o de forma indirecta para la generación eléctrica. Respecto de la energía geotérmica de utilización directa, a fines del año 2014 se registró un aumento de 45% en la capacidad instalada en el mundo en comparación con el año 2010, llegando a 70.329 MWt. Este crecimiento representa un crecimiento anual de aproximadamente 7,7%. Por otro lado, la energía total anual alcanzó un valor de 587.786 TJ, indicando un 38,7% de crecimiento respecto del año 2010. [68] El mayor conocimiento que se ha adquirido de las GSHP² ha tenido un impacto significativo en el uso de la energía geotérmica, generando una curva de experiencia más acelerada de lo que cabría esperar a un mercado no masivo, gracias además al hecho de compartir gran parte de la tecnología con un mercado gigante y globalizado como son los sistemas HVAC³. La energía anual generada por este tipo de tecnología geotérmica en particular tuvo un crecimiento sostenido de 10,3% desde el año 2010 a 2014. La Ilustración 4 muestra cómo en años más recientes la tecnología GSHP ha dominado las instalaciones de tipo geotérmicas.

² Bomba de calor geotérmica por sus siglas en inglés

³ Sistemas de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire por sus siglas en inglés

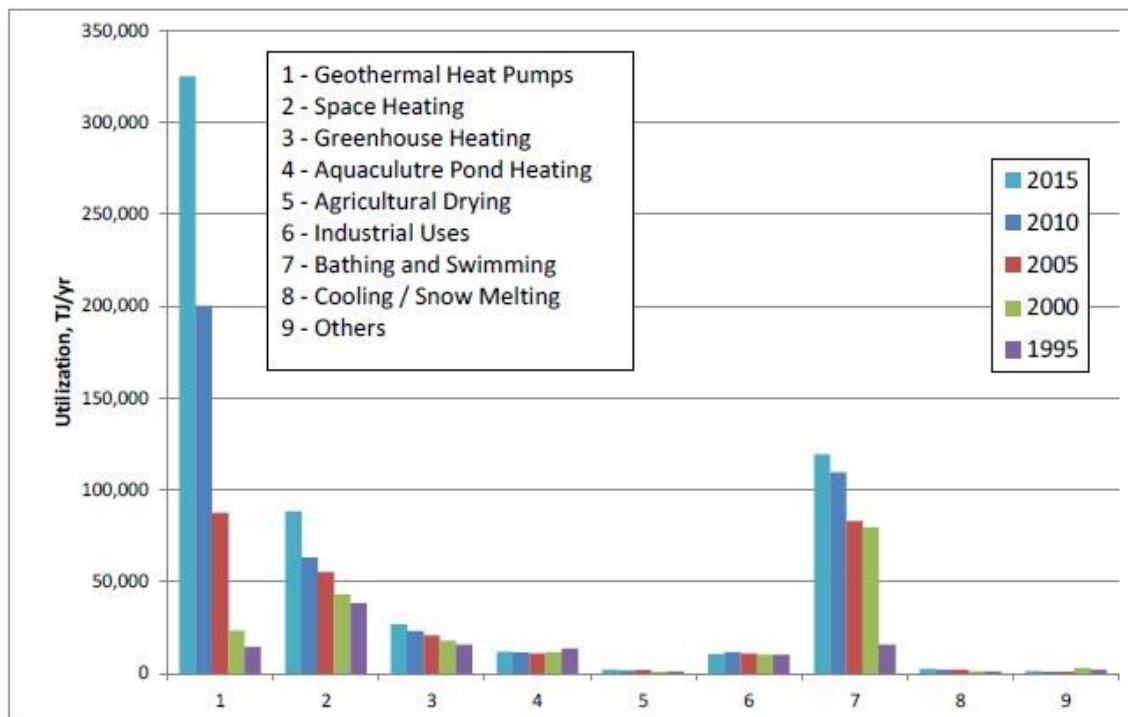


Ilustración 4. Comparación del uso de bombas geotérmicas en TJ/año para los años 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015. [68]

En lo referente a las perforaciones, se han hecho avances científicos específicos dado que es una tecnología específica para estos usos, y, de hecho, es donde los expertos indican que el sector debe invertir más en I+D, para conseguir reducir en la medida de lo posible la resistencia térmica de los pozos en lazo cerrado (boreholes). Gracias a los avances tecnológicos, la resistencia térmica se ha reducido un 40% en los últimos 10 años, aumentando la llamada eficiencia de Hellström de menos de un 60% a un 75%. La comunidad científica aspira a llegar al 80% para 2020 [61].

Esta mejora, combinada con una mejora continua del rendimiento de las bombas de calor, ha conseguido que en los últimos 30 años el COP⁴ estacional de los sistemas GSHP haya pasado de menos de un 3 a más de un 4, proyectándose a un 5 sobre 2020 [62].

⁴ COP: Coefficient of Performance, rendimiento de la bomba de calor.

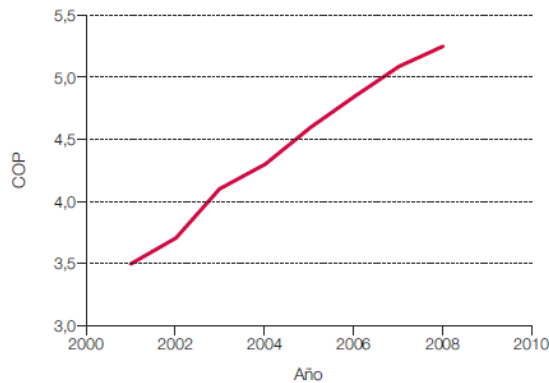


Ilustración 5. Evolución genérica de los COP hasta 2008 [62]

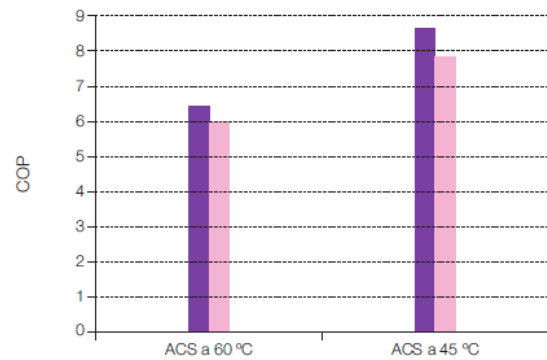


Ilustración 6. Comparativa COP proyectado con límite de Carnot [62]

La Ilustración 6 muestra la proyección tecnológica de los sistemas de generación de ACS mediante bombas de calor para distintos niveles térmicos, referenciando el máximo alcanzable con el máximo rendimiento teórico del ciclo de Carnot, que supone el límite termodinámico.

Hay que destacar de los sistemas GSHP su escalabilidad. Esta tecnología permite su aplicación desde sistemas domésticos de pocos kWt hasta grandes sistemas del orden del MWt. A pesar de ser mucho más competitiva en grandes tamaños, hay que destacar que la industria ha desarrollado soluciones para todos los tamaños y mercados, tanto en lo que se refiere a la bomba de calor como a los intercambiadores con la tierra.

El estudio de “Estimación y valorización del potencial geotérmico en la región de Aysén”, desarrollado en 2017 por el Centro de Excelencia en Geotermia de los Andes [6], señala que en la ciudad de Coyhaique en las zonas adyacentes al río Simpson y al río Coyhaique, es decir en la zona norte y poniente de la ciudad, se tiene una alta permeabilidad del suelo, situación que se reduce en el sector central de la ciudad. En estas últimas zonas, no se recomienda implementar sistemas abiertos de bombas de calor geotérmicas (BCG) salvo en caso de demandas térmicas menores a 20 kWt, que tiene sentido para aplicaciones en viviendas individuales, pero no para sistemas distritales. Sin embargo, toda la zona aledaña a los ríos antes mencionados si presenta oportunidades interesantes como para el uso de bombas de calor geotérmicas para climatización.

Por otro lado, se estimó que, en la capital, donde no se tiene agua caliente en profundidad, se tiene presencia de aguas freáticas a varios metros de profundidad que está a 10°C, cuya temperatura se mantiene constante a 80 centímetros bajo tierra todo el año, donde esta condición es ideal para implementar la tecnología de bombas de calor geotérmicas para calefacción, que usa el suelo como



fuentes de calor para climatizar espacios y proveer agua caliente. Por esta razón se han llevado a cabo proyectos piloto de bombas de calor geotérmicas, y se espera que este lineamiento siga avanzando.

De acuerdo al mismo estudio, en el resto de la ciudad es recomendable solo el uso de sistemas cerrados de bombas de calor geotérmicas, que principalmente corresponderían a pozos verticales para aplicaciones de energía distrital.

También se señala en el estudio que la rentabilidad económica de estos sistemas aún es incierta debido a la poca penetración de la tecnología en la región, sin embargo, para el caso de aplicaciones de energía distrital se indica que falta un estudio específico más en detalle que analice esta rentabilidad para cada caso en particular.

Aun así, la información descrita no se ha tomado en cuenta para el planteamiento de los sistemas en este trabajo por no encontrarse adecuadamente validado el estudio referenciado.

Dada esta incertidumbre, se ha llevado a cabo un análisis comparativo del uso de sistemas GSHP respecto a la biomasa térmica, que se presenta en 7.6.2. Análisis Comparativo del Uso de GSHP vs Biomasa Térmica, en el que no se han tenido en cuenta posibles usos de focos térmicos de aguas superficiales por no haberlos en la ciudad, pero es importante retener en mente dicha potencialidad.

4.3. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

En el marco de la Política Energética para la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campos para el año 2050 [7], la inclusión de energías renovables cumple un rol clave en la diversificación y sostenibilidad de la matriz energética eléctrica y térmica.

Actualmente en la región la energía solar térmica tiene una baja penetración, donde es exclusivamente para el calentamiento de agua en viviendas y donde no supera el 5%, aun siendo una de las tecnologías más conocidas por la población de la región, y que cuya baja penetración se debe principalmente a los altos costos de instalación asociados a este tipo de tecnología.

El potencial solar térmico que posee la ciudad de Coyhaique se estima únicamente para el sector residencial, y viene asociado sólo a la generación de agua caliente sanitaria en las viviendas de la ciudad, donde se estima que cerca de la mitad de las casas (9.180 viviendas aproximadamente) poseen una orientación favorable (aguas norte-sur) para la instalación de sistemas solares tubo de vacío, los cuales son los más acorde para este tipo de clima.

En el estudio realizado por Ernst Basler + Partner para la ciudad de Coyhaique [8] estimó un potencial sin restricciones de 18,5 [GWh/año] para las 9.180 viviendas anteriormente mencionadas, lo cual se limita a 12,4 [GWh/año] si se descartan las viviendas que poseen sombras permanentes durante el



día o problemas estructurales en sus techumbres, que en el mismo informe se estiman en cerca de un 33% de las viviendas mencionadas.

Aun teniendo índices de radiación cercanos en las zonas cordillerana a los de la zona centro-sur del país (por ejemplo, Temuco), no existen lineamientos claros con respecto a su futuro para la integración de proyectos que puedan ser parte de la matriz energética de la región, manteniéndose sólo como una opción de autoabastecimiento [7].

4.4. BIOMASA

4.4.1. CONTEXTO

La biomasa es la fuente energética natural y más próxima a la población en Coyhaique, dada su presencia en el medio y su uso cotidiano en la calefacción de las viviendas. A pesar de la informalidad del mercado, tienen un alto impacto socio económico por la gran cantidad de personas que trabajan en la extracción y comercialización de leña.

En la Región de Aysén, un hogar (5 miembros promedio) consume aproximadamente 18 m³ anuales, cifra que es la más alta a nivel nacional (Gómez-Lobo, Lima, Hill y Meneses, 2006 en López-Montecinos, 2015), y baja calidad de la leña y del proceso de combustión han contribuido a que la ciudad de Coyhaique haya sido decretada como zona saturada atmosféricamente. El consumo de leña constituye el factor que mayor presión ejerce hoy en día sobre el bosque nativo, siendo 2,7 veces mayor la corta para leña que la corta para la producción de astillas y 10 veces mayor que la corta de madera para aserrío (Ábalos, 2001; Gómez-Lobo, 2005 en López-Montecinos, 2015) (Fuente: [9]).

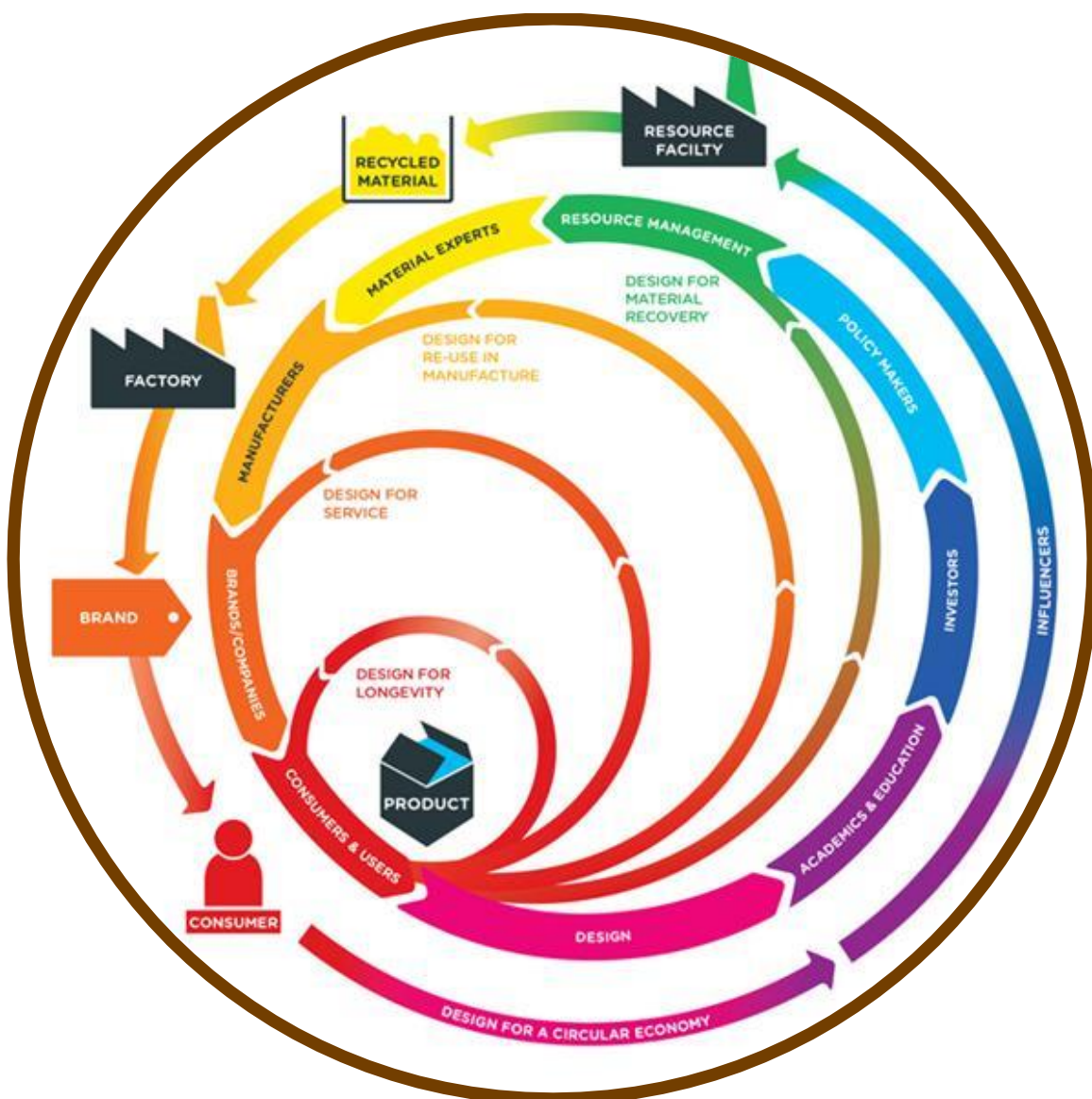


Ilustración 7. Diagrama conceptual del Complejo Integral de Biomasa en Aysén (Proyecto CIBA. SEREMI Energía Aysén)

La importancia de este recurso para la región, tanto a nivel energético, como social y económico, ha llevado a plantear distintas iniciativas destinadas a formalizar y mejorar el sector, desde el manejo de bosques hasta la comercialización de leña o biomasa en otros formatos. Entre estas cabe destacar el CIBA, Complejo Integral de Biomasa en Aysén, una propuesta de desarrollo de economía circular en colaboración con Finlandia para llegar a desarrollar un sector económico de forma integral entre sector público y privado, desarrollo tecnológico, manejo de bosques y generación de valor añadido alrededor de la bioenergía, incluyendo la generación de infraestructuras para el tratamiento de la



biomasa y su valorización económica. Este proyecto sigue siendo actualmente una idea pendiente de desarrollo.

Por otra parte, y de forma más concreta, se ha planteado un proyecto de planta de acopio tratamiento de biomasa a las afueras de Coyhaique, que permita mejorar la calidad de la leña o producir astilla de forma eficaz y eficiente. Este proyecto cuenta incluso con una posible ubicación, en la carretera austral, saliendo al norte de Coyhaique, cerca del mirador Marchant y el parque eólico existente, a 7 km de Coyhaique.

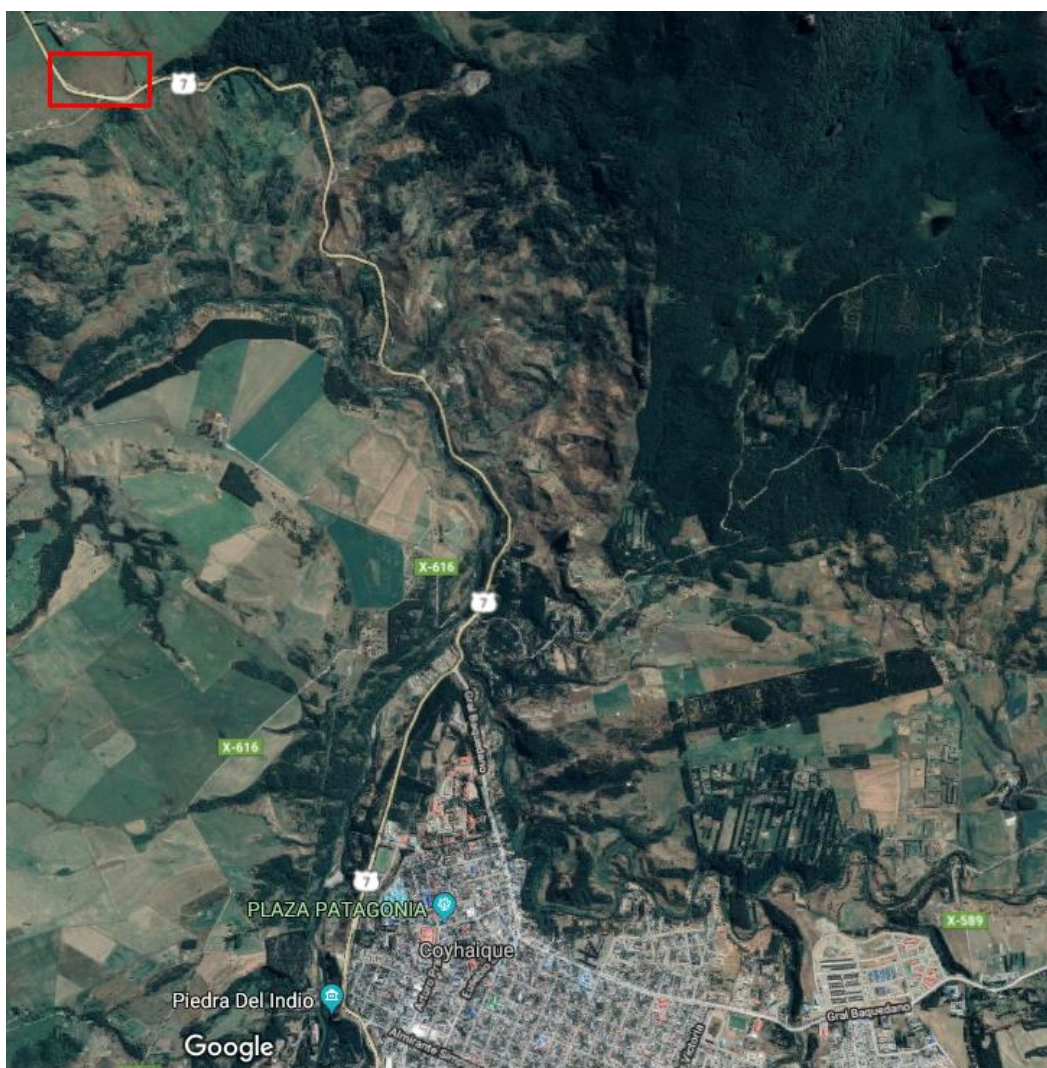


Ilustración 8. Posible ubicación de planta de tratamiento y acopio de biomasa.

4.4.2. RECURSO

Según se desprende del estudio “HERRAMIENTA PARA NEGOCIOS SUSTENTABLES EN BIOMASA FORESTAL. Instituto Forestal 2017” [9], en la comuna de Coyhaique existen 6.592 ha de plantaciones y 157.882 ha de bosque nativo aprovechables.

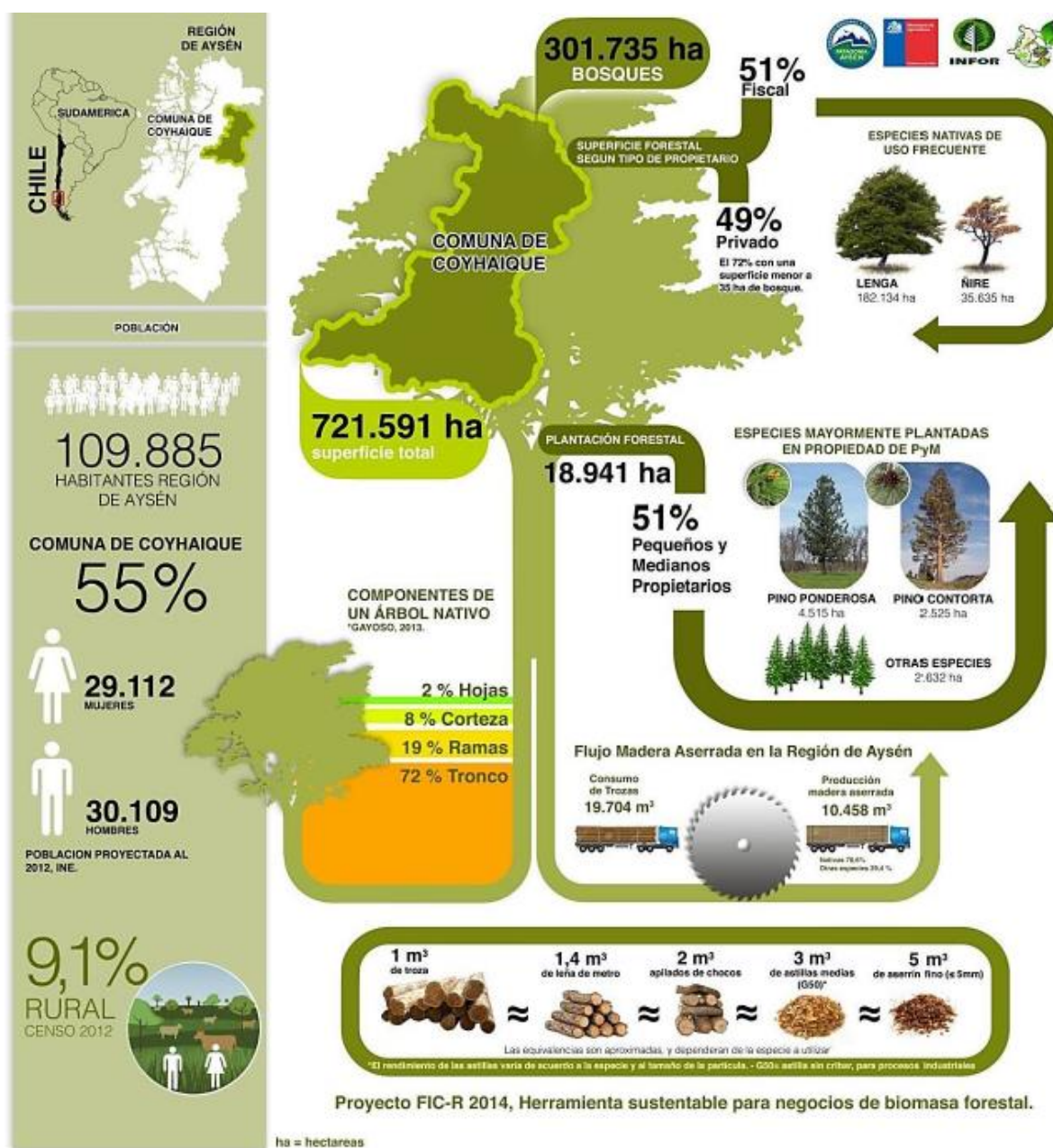


Ilustración 9. Caracterización general de la biomasa en la Comuna de Coyhaique. Fuente: [9]

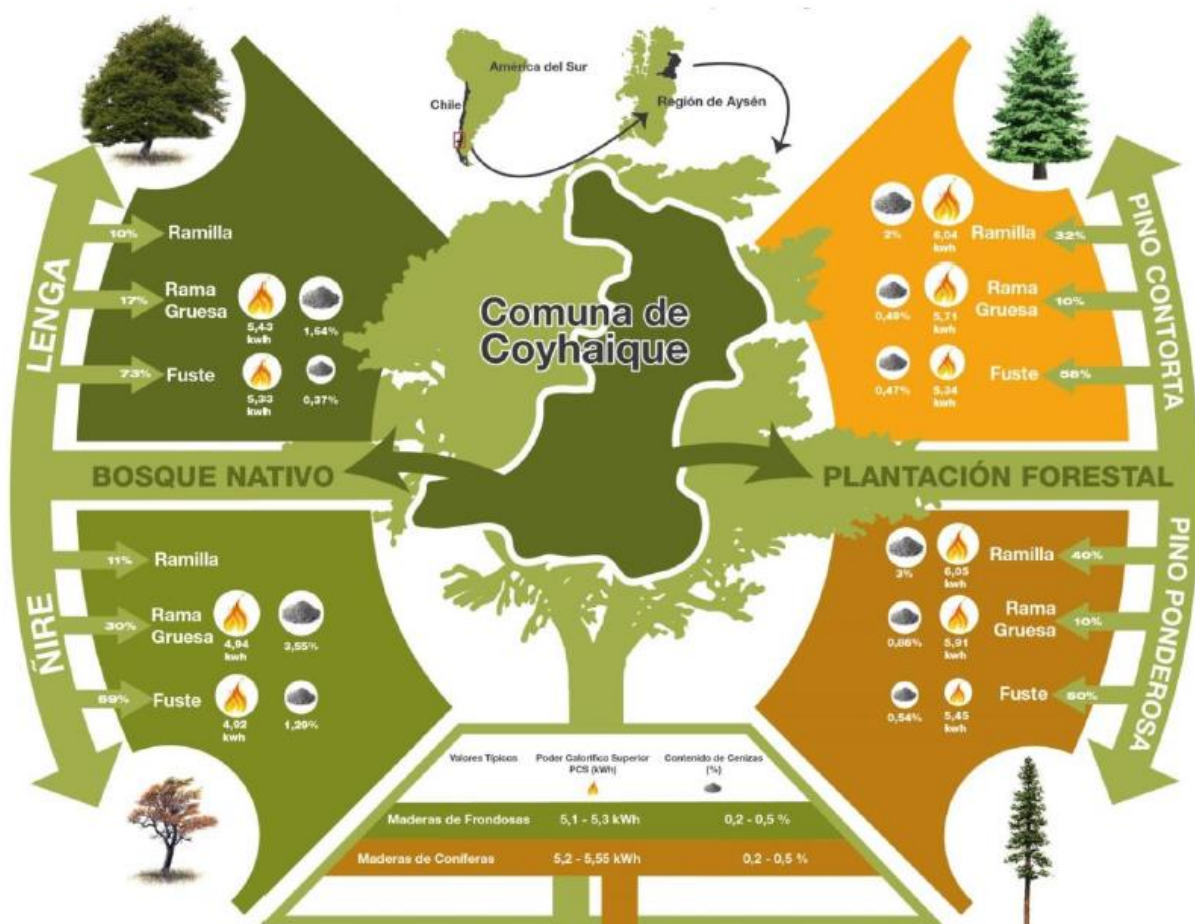


Ilustración 10. Valor energético y contenido de cenizas de las especies presentes en la Comuna de Coyhaique. Fuente: [9]

Tabla 2. Poder calorífico y contenido de cenizas de las especies presentes en la Comuna de Coyhaique. Fuente: [9]

Especie	PCS (kWh/kg)			Contenido de Cenizas (%)		
	Fuste	Rama	Ramilla	Fuste	Rama	Ramilla
Pino ponderosa	5,45	5,91	6,05	0,54	0,86	3,00
Pino contorta	5,34	5,71	6,04	0,47	0,49	2,00
Lenga	5,33	5,43	-	0,37	1,64	-
Nirre	4,92	4,94	-	1,29	3,55	-
Para comparación						
Valores típicos para madera de coníferas	5,2 - 5,5			0,2-0,5		
Valores típicos para madera nativa	5,1 - 5,3			0,2-0,5		



Tabla 3. Biomasa según componentes y distancia a Coyhaique. Fuente: [9]

Componente Biomásico Aéreo	Volumen según Distancia a Ciudad de Coyhaique (MM m ³)		
	30 km	60 km	90 km
Ramillas	1,0	1,6	2,0
Ramas Gruesas	1,7	2,7	3,4
Fuste	7,3	11,7	14,6
Total	10,0	16,0	20,0

A efectos de cuantificación del recurso energético, el estudio identifica 7,3MMm³ de fuste de lenga sólo en las plantaciones existentes a menos de 30 km de Coyhaique, lo que considera que permite establecer una planta de procesamiento de 50.000Tn/año y realizar un ciclo de corta sustentable, con un contenido energético de cerca de los 170GWh. Dentro de este estudio, se abarcaron 5 modelos de análisis para cuatro sectores de la región: Cajón, Ibáñez, Valle Emperador y Coyhaique, donde se dimensionaron todos los medios y recursos necesarios para dar provecho de las condiciones promedios de cada sector y generar 50.000 toneladas anuales de recurso. A partir de este dimensionamiento, se establecieron por tanto los costos fijos y variables de los procesos de corta, saca y transporte de la biomasa.

Para cada uno de los modelos analizados, se estimó el número de empleados asociados a la actividad de corta, saca y transporte de biomasa cuya información se muestra en la Tabla 4. En esta, se observa que es posible generar entre 78 y 169 empleos, número que depende del modelo considerado.

Tabla 4. Número de trabajadores para cada modelo evaluado considerando los procesos de corta, saca y transporte de fuste. Fuente: [9]

Sector	Corta	Saca	Transporte	Total
	Puestos de Trabajo (N°)			
El Cajón (Manual)	Eq. Corta Manual 71	Bueyes 90	Camiones 25 t 8	169
El Cajón (Mecanizado)	Procesadoras 3	Forwarders 5	Camiones 25 t 8	16
Ibáñez	Eq. Corta Manual 71	Urales 12	Camiones 25 t 7	90
Valle Emperador	Eq. Corta Manual 60	Bueyes 90	Camiones 15 t 6	156
Coyhaique	Eq. Corta Manual 62	Ural 12	Camión 25 t 4	78



Como puede observarse, la actividad que requiere un mayor número de empleadores es la corta manual de árboles. No obstante, para el caso del proceso de corte a través de una procesadora mecánica, el número de trabajadores se reduce considerablemente, pasando de un número superior a 70 personas, a 3 trabajadores.

4.4.3. DISPONIBILIDAD Y TARIFAS

Actualmente no se puede considerar que exista una industria y un mercado estructurado de biomasa en Coyhaique para las dimensiones del proyecto que se plantea en este trabajo, pero son dos dinámicas que van de la mano, pues el sistema distrital requiere de una transformación del sector de explotación forestal y tratamiento de biomasa y éste requiere de un cliente estructurado como el sistema distrital para asegurar la demanda que permita las inversiones y las actuaciones necesarias para ello.

Por todo lo anterior, a efectos de este estudio, se considera que existe disponibilidad de recurso y que en el plazo de desarrollo del proyecto la industria se desarrollará hasta un nivel de madurez tal que permita, como mínimo, asegurar los precios medios de Chile informados en “Estadísticas Forestales” [10], en base a los cuales se ha estimado que sería posible disponer de astilla de pino o lenga a 9,5CLP/kWh.

4.5. COMBUSTIBLES FÓSILES

El consumo de combustibles fósiles a nivel regional abarca principalmente derivados del petróleo que son importado o provenientes directamente de otras regiones del país, dado que actualmente la Región de Aysén no cuenta con reservas de hidrocarburos o carbón mineral.

No hay actualmente consumos de gas natural a nivel regional, ya que no existen centros de distribución de gas, terminales de regasificación de gas natural licuado o gasoductos que lleguen con el combustible a la región. El carbón mineral tampoco es utilizado para su consumo energético.

El abastecimiento de combustible se realiza principalmente por vía marítima desde el terminal Quintero a terminal Chacabuco y por tierra el GLP desde la Planta Cabo Negro de ENAP por territorio argentino, siendo envasado en las plantas distribuidoras de la región.

Todo lo mencionado anteriormente repercute en que la región posea los precios en combustibles más altos a nivel nacional.

El consumo de combustibles fósiles en la Región alcanza el 71% del consumo energético total de la región, donde su principal demanda se encuentra en el sector del transporte con un 49% (ver



Ilustración 11), seguido de lejos por la minería con 13%. El consumo residencial y comercial de combustibles fósiles solo alcanza el 4% aproximadamente, lo cual conlleva mayormente la producción de agua caliente sanitaria.



Ilustración 11 Consumo de combustibles derivados del petróleo por sector. Fuente: [7]

Dado que las tarifas de GLP públicas se refieren a consumos de gas en una escala mucho menor a la que requiere el proyecto de energía distrital, incluso contando con el gas como energía auxiliar de puntas, se ha hecho consulta informal a una empresa nacional de GLP que ha informado que podría suministrar este energético o gas natural en los 15USD/MMBTU que corresponde, aproximadamente, a 46CLP/kWh.

4.6. ELECTRICIDAD

4.6.1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos presentes en la Región de Aysén corresponden a la categoría de Sistemas Medianos⁵ (SSMM) y Sistemas Aislados (SSAA) de acuerdo a lo que señala la Ley General de Servicios Eléctricos, los cuales no están interconectados entre sí y menos con el Sistema Eléctrico Nacional (SEN). La región cuenta con tres sistemas medianos: Palena, en el norte de la región y extremo sur de la Región de Los Lagos; Aysén, en el centro de la región, que suministra energía principalmente a Coyhaique y Puerto Aysén, además de la comuna de Río Ibáñez; y General Carrera, por el lado sur del Lago General Carrera y hasta Cochran.

⁵ Los sistemas medianos, corresponden a aquellos sistemas eléctricos cuya capacidad instalada de generación sea inferior a 200 megawatts y superior a 1.500 kilowatts



Ilustración 12: Sistemas Medianos (SSMM) y Aislados de la Región de Aysén. Fuente [7]

La capacidad de generación total instalada en la región, considerando los SSMM, SSAA corresponde a 69 MWe. Existen además mineras privadas que poseen sus propios medios de generación con una capacidad de 22 MWe.

En cuanto a sistemas individuales o comunitarios de generación de energía en la Región de Aysén, aproximadamente sólo el 3% de las personas tienen en su hogar algún medio para generar su propia energía eléctrica (datos de Encuesta SEREMI Energía de Aysén, desarrollada durante el año 2016). Las principales razones de ello son falta de presupuesto (52%) y falta de información (20%), declarando muy pocos encuestados como razón la falta de interés (6%). Cifras similares se dan para calentador de agua solar. Esto indica que hay interés ciudadano en el desarrollo de sistemas de generación comunitaria o autogeneración, pero se evidencia falta de apoyo técnico y financiamiento para hacerlo.



4.6.2. SISTEMA MEDIANO AYSÉN

La ciudad de Coyhaique forma parte del sistema mediano SSMM Aysén, el cual es el más grande de la región, con algo más de 56 MWe instalados. Los otros dos sistemas tienen poco más de 3 MWe cada uno. Las tecnologías utilizadas en los SSMM son principalmente diésel (59%), seguido de hidroelectricidad (35%) y eólico (6%) [7].

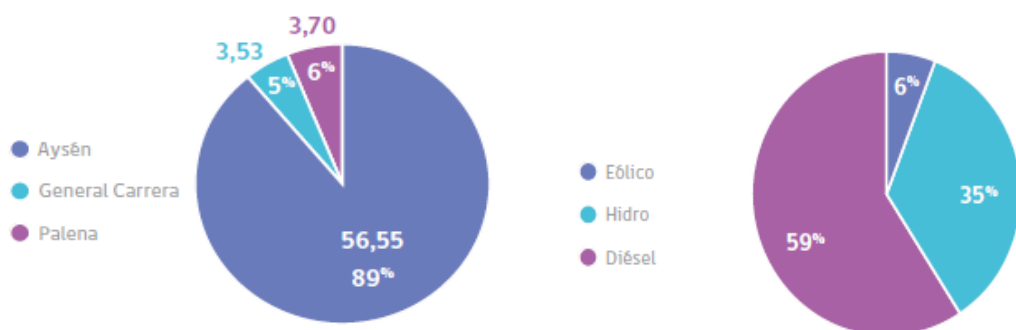


Ilustración 13: Potencia instalada en los sistemas medianos (MW y %) y la distribución % de las Tecnologías. Fuente: [7]

Sistema Mediano	Eólico	Hidro	Térmico diésel	Total por Sistema	% por sistema
Aysén	3,78	20,60	32,17	56,55	88,7%
General Carrera	-	0,64	2,89	3,53	5,5%
Palena	-	1,40	2,30	3,70	5,8%
Total por tecnología	3,8	22,64	37,36	63,78	100%
% por tecnología	5,9%	35,5%	58,6%	100%	

Ilustración 14: Tabla con detalle de capacidad instalada en SSMM de región de Aysén. Fuente: [7]

En particular, la generación eléctrica del SSMM Aysén consta de tener conectadas 2 centrales eólicas con una capacidad instalada de 3,7 MW eólicos, 3 centrales hidroeléctricas que aportan 20 MWe de capacidad instalada, y tres centrales termoeléctricas con una capacidad total de 32 MW; esto se traduce en una potencia total instalada de 56,5 MWe.



Ilustración 15: Esquema del SSMM Aysén. Fuente: [11]

En cuanto a las líneas de transmisión, el sistema cuenta con 7 tramos de líneas de transmisión que cubren aproximadamente 130 kms de distancia, de los cuales 70 son en 23 kV y 60 en 33 kV. Estas líneas permiten conectar la ciudad de Coyhaique (principal consumo) con las centrales de generación ubicadas en los alrededores de Puerto. Aysén y Puerto. Chacabuco (poniente), y las centrales de generación ubicadas al sur de la ciudad. Estas líneas pertenecen a la empresa EDELAYSEN, la cual también es la empresa concesionaria responsable de la distribución eléctrica y propietaria de las centrales de generación.

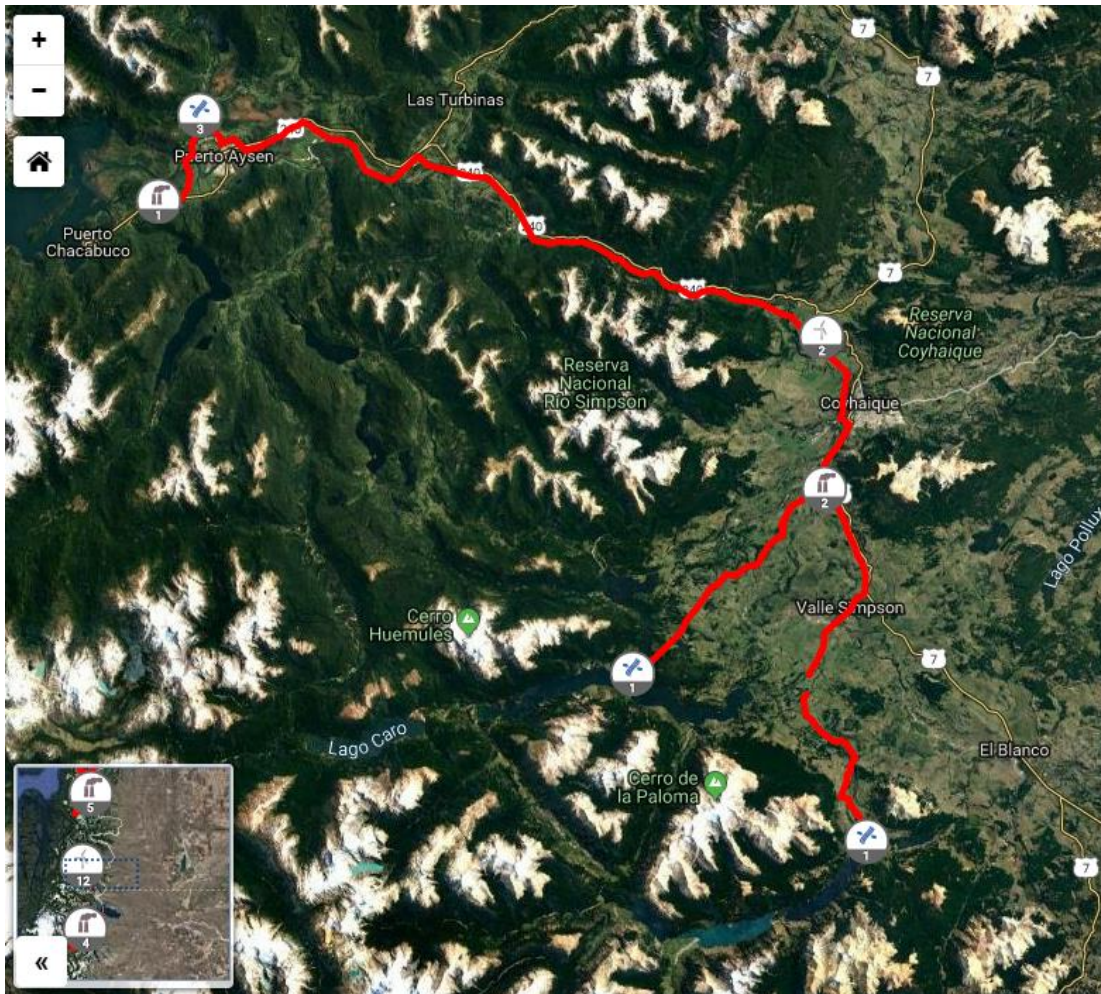


Ilustración 16: Líneas de transmisión del SSMM Aysén. Fuente: [12]

De acuerdo con lo que indica la Ley General de Servicios Eléctricos, la planificación en los SSMM es distinta a la de los sistemas interconectados del país, y es realizada de manera centralizada por la Comisión Nacional de Energía (CNE), la que mediante un estudio de planificación y tarificación fija las tarifas y el plan de expansión obligatorio en generación y transporte. En distribución en tanto, no existe planificación, sino que se entrega una señal de costos eficientes para la expansión de los sistemas, de manera similar de cómo se regula para el resto del país.

En el segmento generación-transporte, el planificador debe visualizar todos los proyectos existentes en la localidad, renovables y no renovables, para ser alternativa en la competencia por la expansión de los sistemas. La competencia en los SSMM se concibe como competencia por “proyectos”, en el sentido de cuál es la mejor manera de abastecer al suministro presente y futuro considerando proyectos a escala regional.



Los precios de nudo de generación-transmisión son fijadas a través de un Decreto del Ministerio de Energía, a partir de un proceso cuadrienal de tarificación y planificación a nivel generación-transporte llevados por la CNE, válidos por cuatro años y con su correspondiente fórmula de indexación. Para efectos de tarifa de generación-transmisión a traspasar a cliente final, y pese a no estar interconectados, los tres SSMM de la región cuentan con la misma tarifa calculada a partir de los costos previamente calculados y a prorrata del tamaño de los respectivos sistemas.

Por su parte, el peaje de distribución cumple con la norma general de este tipo de sistemas, tal cual ocurre en el resto de los sistemas interconectados. Sumado entonces ambos conceptos (precio generación-transmisión y peaje de distribución), cabe observar que la tarifa del tipo residencial (BT1) de los SSMM de la región se encuentra dentro de las más altas a nivel nacional, principalmente debido al componente de distribución el que se ve influenciado por las características propias de la zona — localidades lejanas y poco pobladas —, lo cual hace aumentar su valor

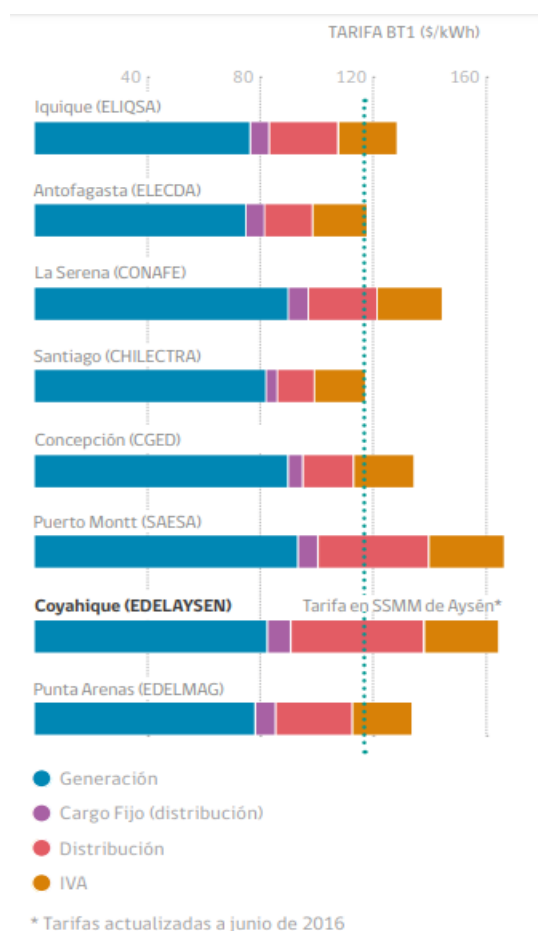


Ilustración 17. Tarifa residencial sistemas medianos de Aysén en comparación al nacional. Fuente:[7]



4.6.3. COBERTURA

Si bien se han hecho esfuerzos por lograr que todos los habitantes de la región cuenten con acceso a suministro eléctrico seguro y de calidad, aún existe un déficit de acceso o cobertura eléctrica, especialmente en las zonas rurales y aisladas. Es así como la Seremi de Energía, en conjunto con el GORE y las municipalidades de la región, formulan y evalúan constantemente proyectos de electrificación rural, los cuales, dependiendo de su factibilidad técnico-económica, se traducen en proyectos de extensión de la red existente o bien de autogeneración.

En el caso de los proyectos de autogeneración, se han implementado proyectos correspondientes a sistemas fotovoltaicos individuales, como la mejor solución analizada para el caso de las viviendas que por su lejanía, dispersión geográfica y difícil acceso, no es factible conectarlas al sistema eléctrico existente. El primer proyecto de este tipo en la región se realizó el año 2010 en la provincia de Capitán Prat, abarcando 90 viviendas dispersas en localidades rurales de las comunas de Cochran, Tortel y O'Higgins. Desde entonces, se han ejecutado e instalado diversos proyectos de este estilo, electrificando a más de 400 viviendas aisladas en las cuatro provincias de la región.

4.6.4. POTENCIAL DE GENERACIÓN

La Región de Aysén es abundante en recursos energéticos, teniendo un potencial importante de recursos renovables. Dado que la región no cuenta con reservas fósiles (hidrocarburos y carbón), esta sección ahondará únicamente en potenciales energéticos renovables.

En cuanto a la aprobación a la construcción de diferentes centrales eléctricas, las que cuentan con mayor apoyo son la eólica, y solar, seguidas por la hidroeléctrica de pasada e hidroeléctrica con embalse [7]. Actualmente se cuenta con datos de potenciales extraídos de los “Exploradores”⁶, contruidos en base a modelos de simulación, los que son calibrados y validados de acuerdo con información de terreno en ciertos puntos. Adicionalmente, se destaca que los datos que se indican corresponden a un potencial en función al recurso. Dado lo anterior, el nivel de penetración real a los sistemas energéticos dependerá tanto de factores económicos, en el sentido de la conveniencia en tarifa de su incorporación, como también de restricciones técnicas que presenten tanto la tecnología en sí misma, como también en las redes de distribución de la energía.

En primer lugar, el recurso eólico en zonas cercanas a la frontera con Argentina se encuentra entre los mejores de Chile. Cualquier lugar con una velocidad de viento mayor a 8 m/s promedio anual

⁶ El Ministerio de Energía ha puesto a disposición del público diferentes herramientas en línea y de tipo geográficos denominados “Exploradores”, destinadas al análisis de los recursos renovables que permiten, de manera gráfica, realizar una evaluación preliminar del potencial energético sobre cualquier sitio definido por el usuario.



podría ser considerado como apto para un parque eólico, y en el sector oriente de la región, se encuentran muchos sitios donde el viento medio anual supera los 10 m/s. Cabe destacar que varios de estos sitios se encuentran cercanos a centros de consumo.

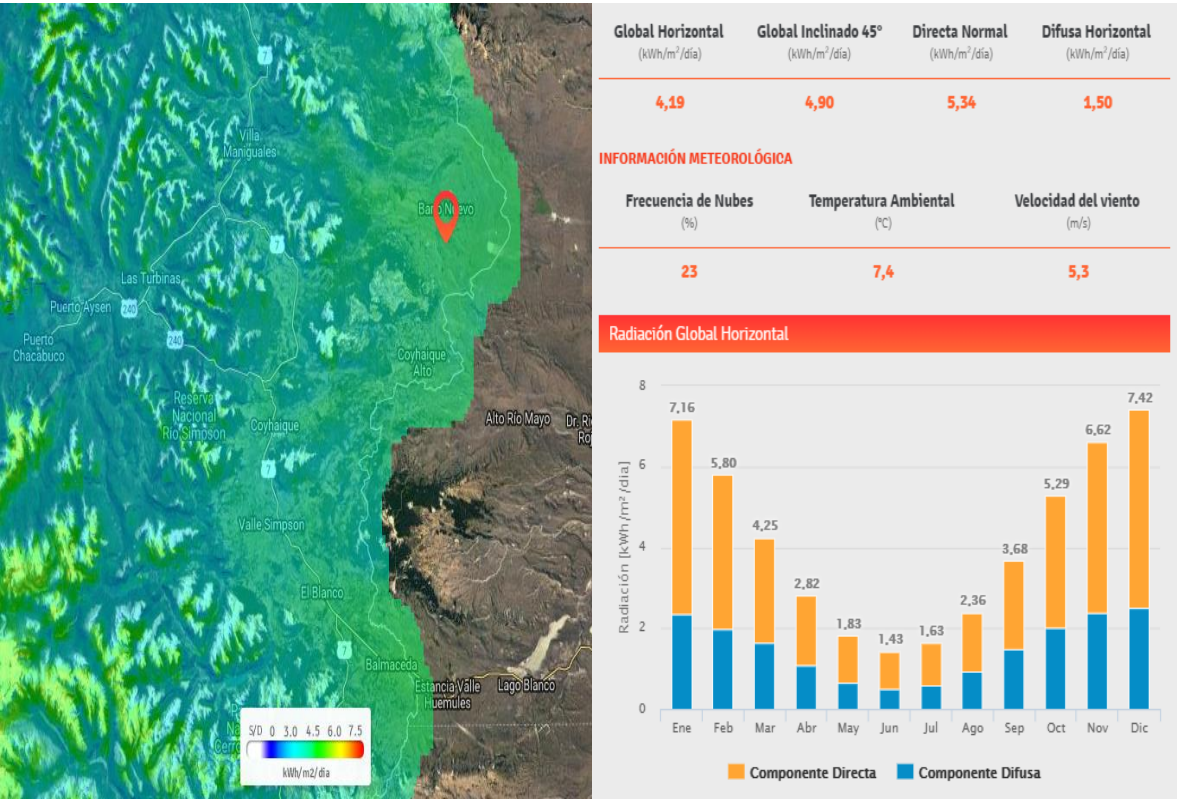


Ilustración 18: Imagen del Explorador Solar del Ministerio de Energía

Considerando la estimación de la calidad del viento en la región, se calcula que existiría un potencial de energía eólica de 2.234 MW en zonas con un factor de planta mayor a 40% [7]. Esto pone de manifiesto el enorme potencial de energía eólica para ser utilizado en generación eléctrica.

En relación con el recurso solar (radiación global horizontal) basado en el Explorador de Energía Solar, se observa que la radiación solar media es mayor hacia el sector oriente de la Región de Aysén, alcanzando valores de hasta 4,5 kWh/m² día, lo que es comparable con el centro-sur de Chile (como, por ejemplo, Temuco).

En cuanto al recurso hídrico, el Ministerio de Energía finalizó la segunda etapa del Estudio de Cuencas, que analiza las condicionantes para el desarrollo hidroeléctrico en 12 cuencas del país. En el caso de la Región de Aysén, este estudio fue elaborado con la colaboración del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile de la Universidad de Concepción y consideró cinco cuencas hidrográficas: Palena, Cisnes, Aysén, Baker y Pascua; donde se identificó un potencial teórico bruto de 6.876 MW,



de los cuales 909 MW se encuentran dentro de Parques Nacionales. Dicho potencial considera el recurso hídrico disponible en todos los tramos de cada una de las cuencas estudiadas, descontando el recurso hídrico asociado a derechos de aprovechamiento de aguas consuntivos (DAAC) y a proyectos en alguna etapa de evaluación ambiental, o que se vinculen a centrales hidroeléctricas existentes.

Cuenca	Potencial Teórico (MW)	Potencial Teórico descontado DAAC (MW)	Potencial Bruto descontando caudales de reserva (MW)	Potencial Bruto descontando Potencial en Parques Nacionales (MW)
Palena	1.798	1.797	1.797	1.764
Cisnes	670	655	619	613
Aysén	1.295	1.222	848	831
Baker	3.13	3.116	1.918	1.506
Pascua	1.695	1.694	1.694	1.253
TOTAL	8.588	8.484	6.876	5.967

Ilustración 19: Tabla con potencial teórico bruto hidroeléctrico de la región [7].

A continuación, se presenta el potencial existente de energía de biomasa, en base a la superficie de bosque nativo, y también la superficie potencial disponible para plantaciones dendroenergéticas en la Región de Aysén. La superficie de bosque nativo puede ser incorporada a un manejo forestal multipropósito bajo criterios de sostenibilidad, siendo la dendroenergía uno de estos fines. En base a la información cartográfica de la Corporación Nacional Forestal (Conaf), aplicando restricciones legales a la superficie bruta de bosque nativo del Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, se estima que en la Región de Aysén hay una superficie de bosque nativo con potencial energético de 1.966 mil hectáreas (de un total regional de 4.399 mil hectáreas), siendo la mayor en el país.

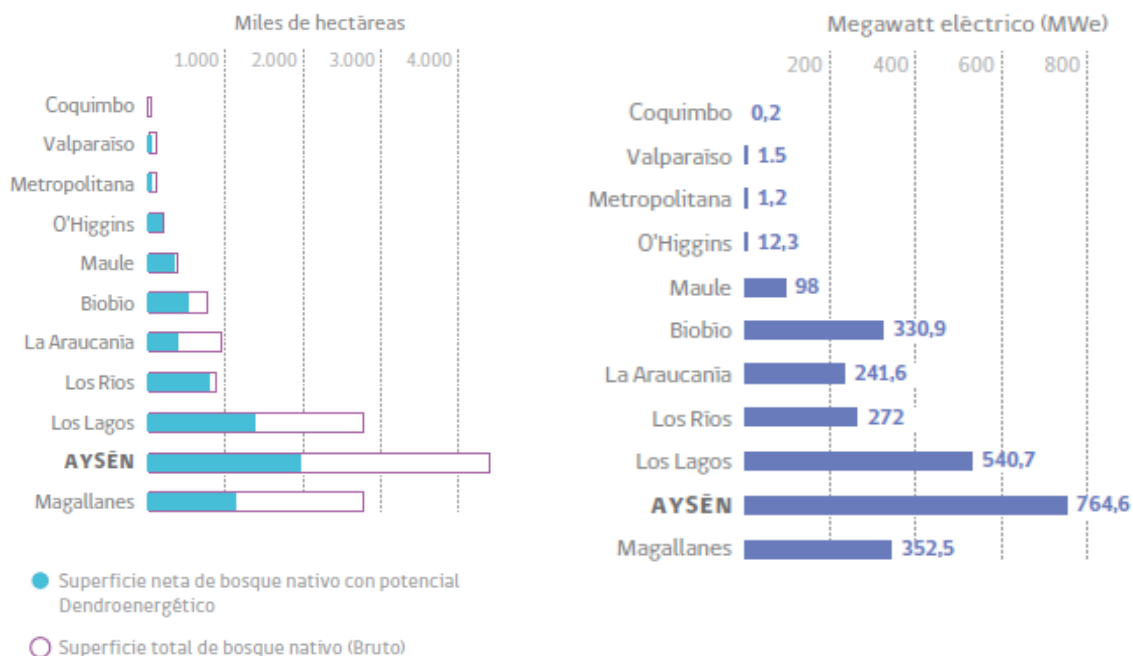


Ilustración 20: Superficie de bosque nativo por región (Derecha) y Mega Watt Eléctrico generado en base a biomasa por región (Izquierda). Fuente: [7]-[13]

La potencia instalable de generación eléctrica se calcula a partir de biomasa obtenida anualmente de la simulación de un manejo forestal multipropósito del bosque nativo, de los estratos renewal, bosque adulto y bosque adulto-renewal. La base para estimar el potencial de generación eléctrica corresponde a la biomasa aprovechable anual, a la cual se aplicaron factores de reducción. Para estimar la potencia eléctrica se considera un factor de planta de 80% y una eficiencia eléctrica de 30%. De esta manera, se estima que la Región de Aysén tiene el mayor potencial a nivel nacional, alcanzando los 764,6 MWe.

No existe en Aysén ninguna planta de geotermia de alta entalpia y tampoco consta en el SEIA ninguna planta en tramitación.⁷

4.6.5. DISPONIBILIDAD Y TARIFAS

La disponibilidad de potencia presente y futura del sistema eléctrico hace que se considere poco viable a corto plazo el uso de electricidad de forma masiva para la producción de calor mediante el uso de bombas de calor, excepto en el caso de auto producir dicha electricidad mediante cogeneración, dado que en los sistemas medianos la figura de cliente libre no aporta ventaja alguna

⁷ <https://www.sea.gob.cl>



por existir un proveedor único y la ampliación de potencia se hace sobre demanda, lo que imposibilita que los precios bajen.

Sí que existe la opción de un contrato PPA con un generador, pero queda fuera del alcance del presente proyecto la evaluación de esta alternativa.

4.7. CONCLUSIONES

Tomando en consideración todo lo expuesto anteriormente se establece como punto de partida de este estudio el uso de la biomasa como fuente de energía primaria principal del sistema distrital, por las siguientes razones:

1. Es la fuente energética más económica disponible a nivel primario y potencialmente a nivel útil
2. Presenta el mayor impacto positivo a efectos socioeconómicos al lograr que gran parte del OPEX del sistema revierta en la economía local, generando ocupación y riqueza que se distribuirá en el conjunto de la población
3. Da la oportunidad al sector leñero de reciclarse y entrar en sector económico estructurado y maduro, logrando a su vez que éste se alinee con la transformación que supone la introducción del sistema distrital, al no verlo como un competidor, cosa que sucedería si el sistema no usa biomasa local
4. Al substituir parte de los combustibles fósiles que se usan actualmente para producir ACS y calefacción por biomasa, el sistema no sólo es neutro en CO₂, si no que reducirá las emisiones actuales.
5. A nivel ecológico representa una oportunidad económicamente sustentable de mejorar el manejo del bosque nativo

Cabe destacar que la futura entrada en vigor de la ley de biocombustibles sólidos, junto con las iniciativas fiscalizadoras al comercio de la leña, deberían tener un impacto en el costo de la calefacción a leña de entre un 19% y un 30%, asociado al IVA y otros gastos de gestión y certificación. Este incremento de costos no debería afectar directamente al costo de la biomasa a nivel industrial, dado que ésta ya se comercializa en un marco formal y cuenta con IVA.



5. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA

5.1. GENERALIDADES

El diseño de los sistemas de calefacción distrital parte de una evaluación geográfica de las demandas sobre el territorio, esto es, definir el potencial de demanda de forma continua sobre el entramado urbano, buscando la rentabilidad integrada de las demandas singulares con otras difusas que constituyen las zonas residenciales.

Para definir las demandas de calor de Coyhaique se debe realizar un estudio mediante cuadrantes o manzanas delimitados por las distintas calles de la ciudad. Luego, con los cuadrantes definidos se deben establecer los tipos de vivienda y los edificios singulares que existen en cada uno de ellos, con lo que posteriormente se estimarán las demandas energéticas de cada edificación y la del cuadrante en que estas se encuentren posicionadas.

La metodología para determinar los consumos consiste en las siguientes etapas:

1. Identificar los tipos de viviendas y edificios singulares mediante las bases de datos desarrolladas para la ciudad.
2. Mediante encuestas y las bases de datos identificar la demanda de calor en viviendas y edificios singulares.
3. Desarrollar modelos de viviendas y edificios tipo mediante simulaciones, los cuales son calibrados con los datos obtenidos en las encuestas y bases de datos.
4. A partir de datos obtenidos en las simulaciones se obtienen las demandas energéticas por edificación, con lo que finalmente se arman las demandas energéticas de cada cuadrante.

Con los resultados de demanda se generan los mapas de calor que se pueden apreciar en la Ilustración 21.

La metodología detallada se encuentra en los anexos a este documento.

5.2. DENSIDAD DE DEMANDA

La densidad territorial de demanda indica la demanda energética por m^2 de territorio, lo que la hace un buen indicador de rentabilidad, dado que la inversión es proporcional a la extensión y los ingresos de explotación son proporcionales a la demanda absoluta.



Para evaluar de forma preliminar la posibilidad que una zona sea rentable se usan rangos de densidad de demanda como los que se presentan a continuación.

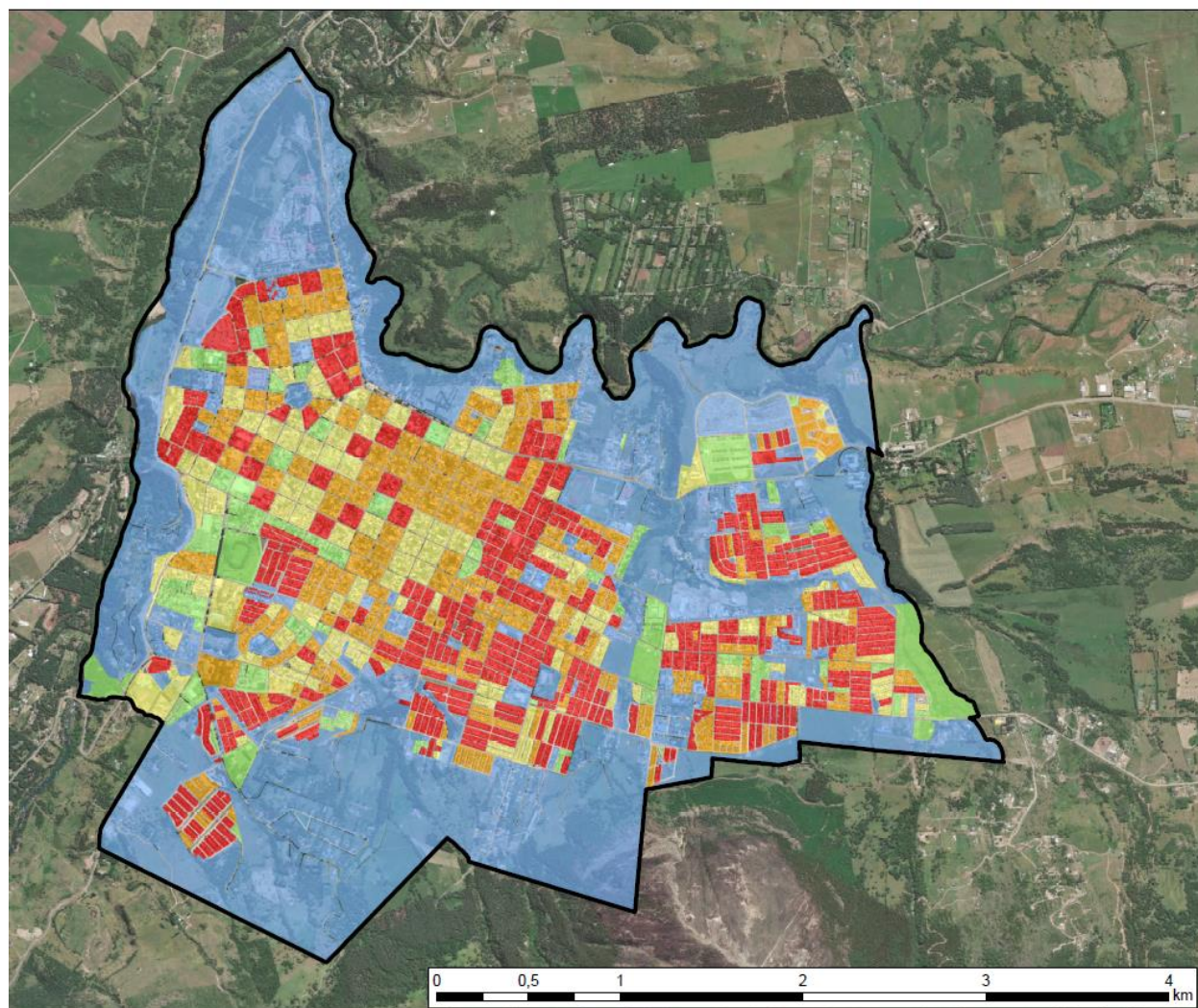
Tabla 5. Adecuación de proyectos según densidad térmica. Fuente: [14]

Adecuación para la conexión térmica	Densidad térmica de referencia (kWh/m ² año)
No adecuado	<50
Apto bajo ciertas condiciones	50-70
Adecuado	>70

Sobre lo anterior, cabe destacar dos aspectos:

1. Los rangos son orientativos y su concreción dependerá mucho de los costos de inversión y operación, por lo que un proyecto que use calor residual puede ser viable, aunque se encuentre en el rango del “No adecuado”.
2. Disponer de mucha superficie o viviendas en rangos Aptos o Adecuados, tampoco significa que deba concretarse, dado que pueden ser clústeres de demanda atomizados y alejados.

La ilustración siguiente grafica Densidad de Demanda, indicando que existen manzanas en las cuales la demanda se encuentra concentrada en superficies pequeñas, que son aquellas indicadas en colores más rojizos. Por otro lado, se puede observar una gran cantidad de área con una densidad de demanda menor, distribuida principalmente en la periferia de la ciudad. Estas manzanas se caracterizan por una gran superficie y, en general, una menor cantidad de edificaciones, por lo que su demanda se identifica como menos densa.

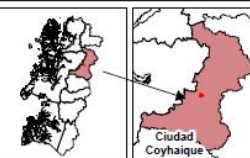


EVALUACIÓN DE PROYECTOS
CALEFACCIÓN DISTRICTAL
PARA LAS CIUDADES DE
COYHAIQUE Y
PUERTO WILIAMS
CHILE



**Densidad
de Demanda**

Ciudad de Coyhaique



Simbología

Densidad de Demanda

kWh/m²/año

- 0 - 30
- 31 - 50
- 51 - 70
- 71 - 90
- > 90

Area Urbana Censo 2017

Limite area urbana



Ilustración 21. Mapa general de demanda de calor Coyhaique



Además, la Tabla 6 muestra los resultados en términos de porcentaje de viviendas y superficie construida, de forma de indicar la porción de territorio que se encuentra en condiciones aptas o no aptas para la implementación de un sistema de calefacción distrital, teniendo en cuenta las consideraciones antes descritas.

Tabla 6. Resultados numéricos para la comuna de Coyhaique

Parámetro	Unidades	Coyhaique
Grado de adecuación		Superficie construida (m²)
No adecuado	m ²	786.347
Apto bajo ciertas condiciones	m ²	363.362
Apto	m ²	221.980
Total	m²	1.371.689
Grado de adecuación		Porcentaje de superficie
No adecuado		52%
Apto bajo ciertas condiciones		34%
Apto		14%

Los resultados de la tabla y gráfico anteriores pueden resumirse en que existe un 52% de las viviendas que se encuentra en un rango de no apto, s, sin embargo, existe un 12% de viviendas en este rango de densidad de demandas menor a 50 kWh/m² pero mayor a 45 kWh/m², lo que indica que si se puede rentabilizar ese rango, se podría lograr un total de 60% de viviendas que, bajo ciertas condiciones, podrían ser aptas para la implementación de un sistema de calefacción distrital.

5.3. CONSUMIDORES SINGULARES

En la localidad de Coyhaique se han identificado edificaciones cuya demanda de calor es significativa para el desarrollo del presente proyecto, considerando su posible integración a la red de calefacción distrital.

Para identificar los edificios singulares, se hizo uso de la base de datos de calderas registradas, desarrollado por la SEREMI de salud. Esto con el fin de obtener datos relativos a potencia de caldera, demanda energética, tipo de consumo y emisiones.

Al analizar los datos del documento mencionado, se encontraron 106 edificios con consumos singulares, lo que fueron clasificados a partir de sus distintos usos, como se puede apreciar en la Tabla 8



Tabla 7. Tipologías de consumos singulares

Tipología	Definición
Centro Educativo	Tipología cuyo uso horario es de 8:00 a 16:00 hrs de lunes a viernes en los meses de marzo a diciembre.
Centro de Salud	Para los centros de salud se identifican dos usos horarios, en el caso de hospitales se considera un funcionamiento 24/7 todo el año, mientras que en los consultorios se considera un funcionamiento de 8:00 a 20:00 hrs de lunes a viernes todo el año.
Edificio Público	Edificación estatal o municipal que involucra un uso horario de 8:00 a 18:00 hrs de lunes a viernes, todo el año.
Comercial	Edificaciones cuyo uso horario es de 10:00 a 13:00 hrs y de 15:00 a 20:00 hrs de lunes a sábado todos los meses del año.
Edificio Administrativo (Privado)	Tipología de carácter privado que involucra un uso horario de 8:00 a 20:00 hrs de lunes a viernes, todo el año.
Hotel	Tipología que considera un uso horario 24/7 todo el año.
Centro Deportivo	Tipología que involucra un uso horario de 8:00 a 20:00 hrs de lunes a domingo, todos los meses del año.

A continuación, se lista la totalidad de edificios identificados y sus principales características.

Tabla 8. Resumen de potencia y consumo anual para edificios singulares

Nombre Edificio	Tipo de Uso	Potencia total [Kw]	Consumo Anual [MWh]	Tipo de combustible
Hotel Nómades	Hotel	169	840,38	Leña
Comercial San Cristóbal	Comercial	581	780,31	Leña
Parque austral	Centro Deportivo	668	1.926,14	Leña
Centro cultural Coyhaique	Edificio Público	133	429,02	Leña
Edificio obras municipalidad	Edificio Administrativo	65	488,37	Leña



Nombre Edificio	Tipo de Uso	Potencia total [Kw]	Consumo Anual [MWh]	Tipo de combustible
Hotel Terramosqueto	Hotel	93	122,40	Leña
Hotel Los Ñires	Hotel	190	55,08	Leña
Liceo Josefina Aguirre	Centro Educativo	206	1.402,74	Leña
Liceo Juan Pablo II	Centro Educativo	600	2.441,91	Leña
Escuela Pedro Quintana	Centro Educativo	262	1.962,21	Leña
Colegio Alborada	Centro Educativo	349	1.285,21	Leña
Colegio Alborada 2	Centro Educativo	203	1.208,71	Leña
Centro educación adultos (CEIA)	Centro Educativo	93	367,20	Leña
Conaf los coigües	Edificio Administrativo	41	290,70	Leña
Jardín infantil Mimos	Centro Educacional	93	183,60	Leña
Consultorio Alejandro Gutierrez	Centro Salud	141	1.059,16	Leña
Jardin infantil Ayken yemel	Centro Educacional	122	413,10	Leña
Apart hotel Carrillo	Hotel	174	116,28	Leña
Hotel Español	Hotel	133	199,24	Leña
Jardín infantil futuro austral	Centro Educacional	93	489,61	Leña
Escuela Altamira de Coyhaique	Centro Educativo	80	51,14	Diesel
Vivienda fiscal comandante en jefe iv d.e.	Edificio Administrativo	300	187,26	Diesel
Sucursal Coyhaique Banco Estado	Comercial	518	900,77	Diesel
Centro de rehabilitación Club de Leones	Centro Salud	27	63,55	Diesel
Contraloría regional de Aysén	Edificio Administrativo	84	132,55	Diesel
Mutual de seguridad CChC	Centro Salud	343	397,17	Diesel
Distribuidora Las Lechuzas Ltda.	Comercial	59	119,15	Diesel
Hogar de ancianos padre Antonio Ronchi	Centro Salud	64	59,57	Diesel
Subjefatura zonal CMT Coyhaique	Edificio Administrativo	161	100,33	Diesel
Gobierno regional de Aysén	Edificio Administrativo	141	378,27	Diesel
Colegio Mater Dei	Centro Educativo	253	215,61	Diesel
Liceo agrícola de la patagonia	Centro Educativo	456	143,48	Diesel
Biblioteca regional Aysén	Edificio Público	44	84,30	Diesel
Colegio Alianza Austral	Centro Educativo	465	210,50	Diesel
Sociedad comercial y turística El Reloj Ltda.	Comercial	84	148,94	Diesel
Escuela Baquedano	Centro Educativo	747	1.925,52	Diesel
Centro médico Coyhaique	Centro Salud	37	24,82	Diesel
Serviu región de Aysén	Edificio Administrativo	890	129,08	Diesel
Colegio Mater Dei	Centro Educativo	533	430,23	Diesel



Nombre Edificio	Tipo de Uso	Potencia total [Kw]	Consumo Anual [MWh]	Tipo de combustible
Colegio El Camino de la Fuente	Centro Educativo	377	240,92	Diesel
Colegio El Camino	Centro Educativo	127	111,60	Diesel
Seremi desarrollo social	Edificio Administrativo	28	46,17	Diesel
Jardín infantil Kau-kalem	Centro Educacional	120	66,53	Diesel
Dirección regional Junji	Edificio Administrativo	60	119,15	Diesel
Supermercado Bigger (Rendic hermanos)	Comercial	1.431	2.796,04	Diesel
Consultorio Victor Domingo Silva	Centro Salud	29	168,80	Diesel
Cuartel Baquedano policía investigaciones	Edificio Administrativo	61	148,94	Diesel
Ministerio de obras publicas	Edificio Administrativo	394	239,78	Diesel
Colegio Antoine de Saint Exupery de Coyhaique	Centro Educativo	186	79,43	Diesel
Hotel diego de Almagro	Hotel	726	1.979,90	Diesel
Defensoría regional de Aysén	Edificio Administrativo	51	108,23	Diesel
Dirección regional Sename Aysén	Edificio Administrativo	41	44,38	Diesel
Hush pupies	Comercial	45	22,84	Diesel
Clínica Bilbao	Centro Salud	60	24,82	Diesel
Afp provida	Comercial	14	62,55	Diesel
Centro cumplimiento penitenciario Coyhaique	Edificio Administrativo	114	248,23	Diesel
Colegio Diego Portales (escuela San José obrero)	Centro Educativo	291	538,57	Leña
Abastecedora del comercio	Comercial	60	40,11	Diesel
Colegio Xavier Butiña	Centro Educativo	95	181,70	Diesel
Comercial Carrasco y Hernández S.A.	Comercial	29	27,80	Diesel
Consejo nacional de la cultura y las artes región de Aysén	Edificio Administrativo	48	41,54	Diesel
Dirección servicio de salud Aysén	Centro Salud	278	392,20	Diesel
Edificio apa aguas patagonia	Comercial	213	133,23	Diesel
Jardín infantil Nueva Esperanza	Centro Educacional	69	25,42	Diesel
Liceo San Felipe Benicio	Centro Educativo	872	433,35	Diesel
Servicio salud Aysén (ex hotel turismo bagual)	Centro Salud	174	188,65	Diesel
Cine municipal Coyhaique	Comercial	127	23,79	Diesel
Crs Coyhaique	Centro Salud	177	109,84	Diesel
Centro Rayen, Sernam	Edificio Administrativo	600	1.285,21	Diesel
Laboratorio Thomas	Centro Salud	63	19,86	Diesel



Nombre Edificio	Tipo de Uso	Potencia total [Kw]	Consumo Anual [MWh]	Tipo de combustible
Escuela San José obrero (ex liceo Juan Pablo II)	Centro Educativo	186	116,67	Diesel
Hostal Viento sur	Hotel	39	65,04	Diesel
Liceo República Argentina	Centro Educativo	581	918,01	Leña
Lan chile (Latam airlines)	Comercial	39	32,27	Diesel
Junaeb	Edificio Administrativo	60	49,65	Diesel
Clínica odontológica integral	Centro Salud	25	19,66	Diesel
Clínica odontológica Condell	Centro Salud	60	42,70	Diesel
Indap	Edificio Administrativo	27	29,79	Diesel
Seremi del Medio Ambiente	Edificio Administrativo	33	119,15	Diesel
Apart hotel Rumbo sur	Hotel	120	25,42	Diesel
SAG oficina Coyhaique	Edificio Administrativo	349	177,81	Diesel
Fonasa	Edificio Administrativo	16	14,30	Diesel
Departamento provincial de educación Coyhaique	Edificio Administrativo	384	68,71	Diesel
Clínica Polux (Dussen s.a.)	Centro Salud	60	4,89	Diesel
Sag oficina los coigües	Edificio Administrativo	50	41,35	Diesel
Junji (zona agrícola)	Edificio Administrativo	321	258,00	Otro
Eleam - Serviu (zona agrícola)	Edificio Administrativo	1.433	1.151,00	Otro
Centro cultural zona agrícola	Edificio Público	791	636,00	Otro
PDI zona agrícola	Edificio Administrativo	593	476,00	Otro
Servicio médico integral (servicio de salud escuela agrícola)	Centro Salud	41	103,62	Otro
Senama	Edificio Administrativo	106	84,87	Otro
Sernam	Edificio Administrativo	122	97,83	Otro
Senadis	Edificio Administrativo	113	90,93	Otro
Dreams hotel casino Spa	Hotel	960	2.293,02	Otro
Intendencia Regional de Aysén	Edificio Administrativo	98	78,69	Otro
Universidad Tecnológica de Chile INACAP	Centro Educativo	349	280,81	Otro
Policlínica Coyhaique ACHS	Centro Salud	558	1.419,35	Otro
Toyota	Comercial	14	14,57	Otro
Homecenter	Comercial	82	84,75	Otro



Nombre Edificio	Tipo de Uso	Potencia total [Kw]	Consumo Anual [MWh]	Tipo de combustible
Terminal de buses nuevo	Edificio Público	87	69,56	Otro
Gimnasio regional	Centro Deportivo	96	157,78	Otro
Colegio España	Centro Educativo	593	477,44	Otro
Juzgado de letras del trabajo y familia	Edificio	515	413,71	Otro
Coyhaique	Administrativo			

A continuación, se presenta la distribución de potencia y demanda a partir del uso de los edificios singulares.

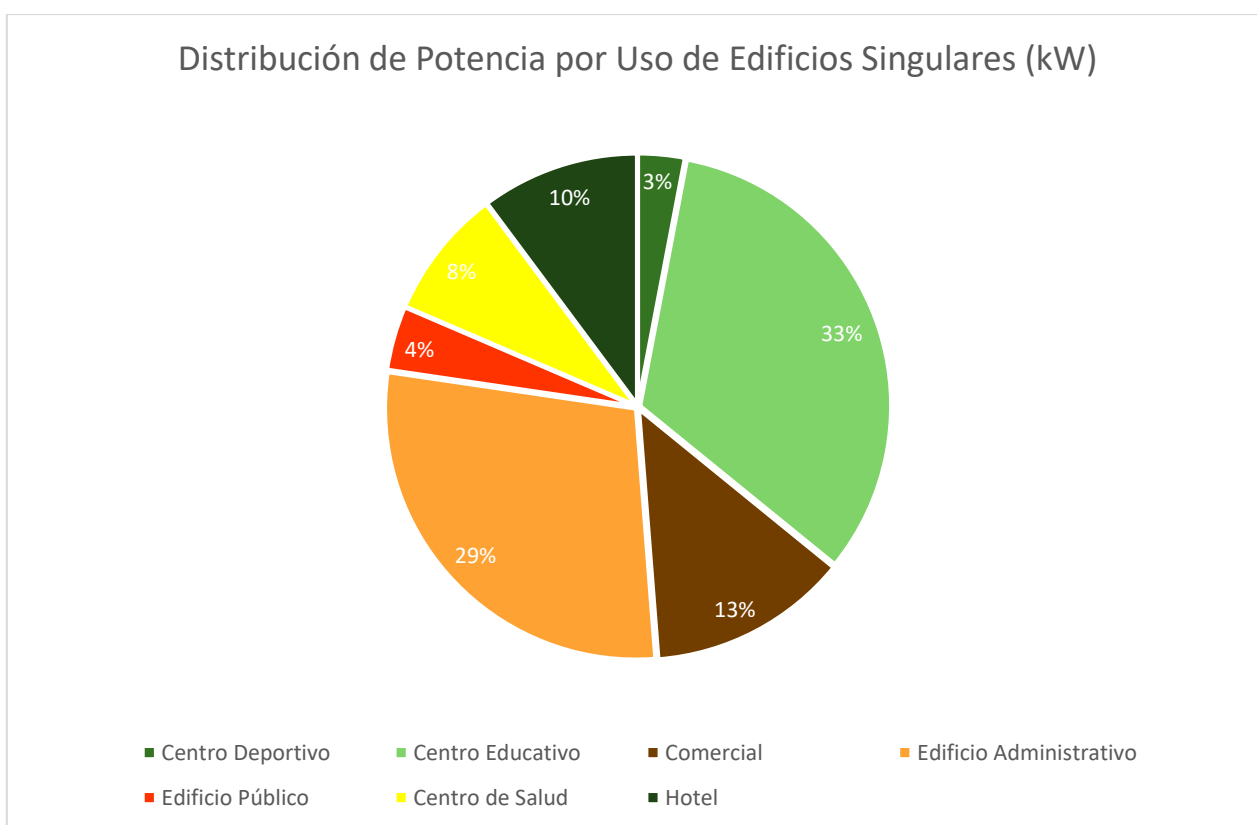


Ilustración 22. Distribución de potencia de acuerdo con el uso de edificios singulares



Tabla 9. Distribución de potencia y demanda por tipología de uso

Tipología	Potencia (kW)	Consumo Anual (kWh)	Consumo Anual (MWh)
Centro Deportivo	764,46	2.083.926,46	2.083,93
Centro Educativo	8.401,96	16.201.229,31	16.201,23
Comercial	3.296,62	5.187.122,78	5.187,12
Edificio Administrativo	7.298,95	7.139.991,15	7.139,99
Edificio Público	1.054,12	1.218.877,16	1.218,88
Centro de Salud	2.137,01	4.098.645,47	4.098,65
Hotel	2.604,01	5.696.756,52	5.696,76
TOTAL	25.557,13	41.626.548,85	41.626,55

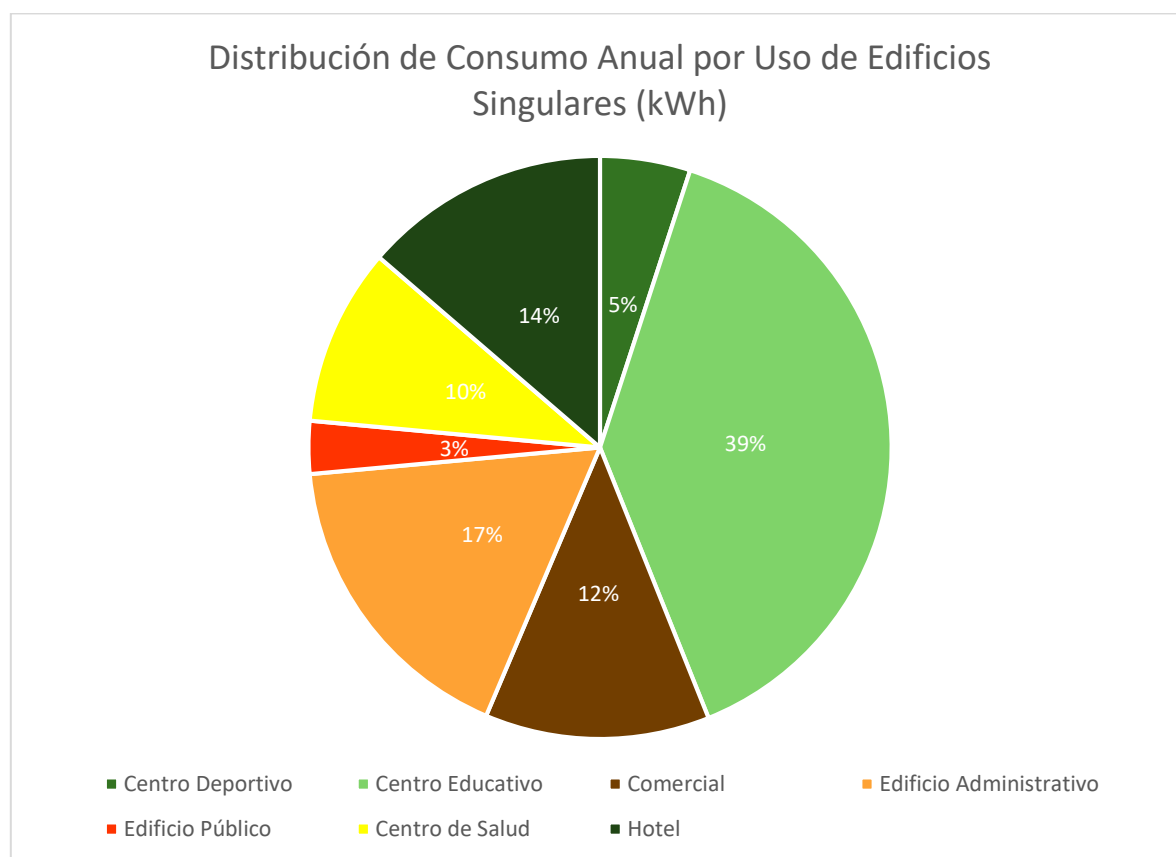


Ilustración 23 Distribución de consumo anual de acuerdo con el uso de los edificios singulares.

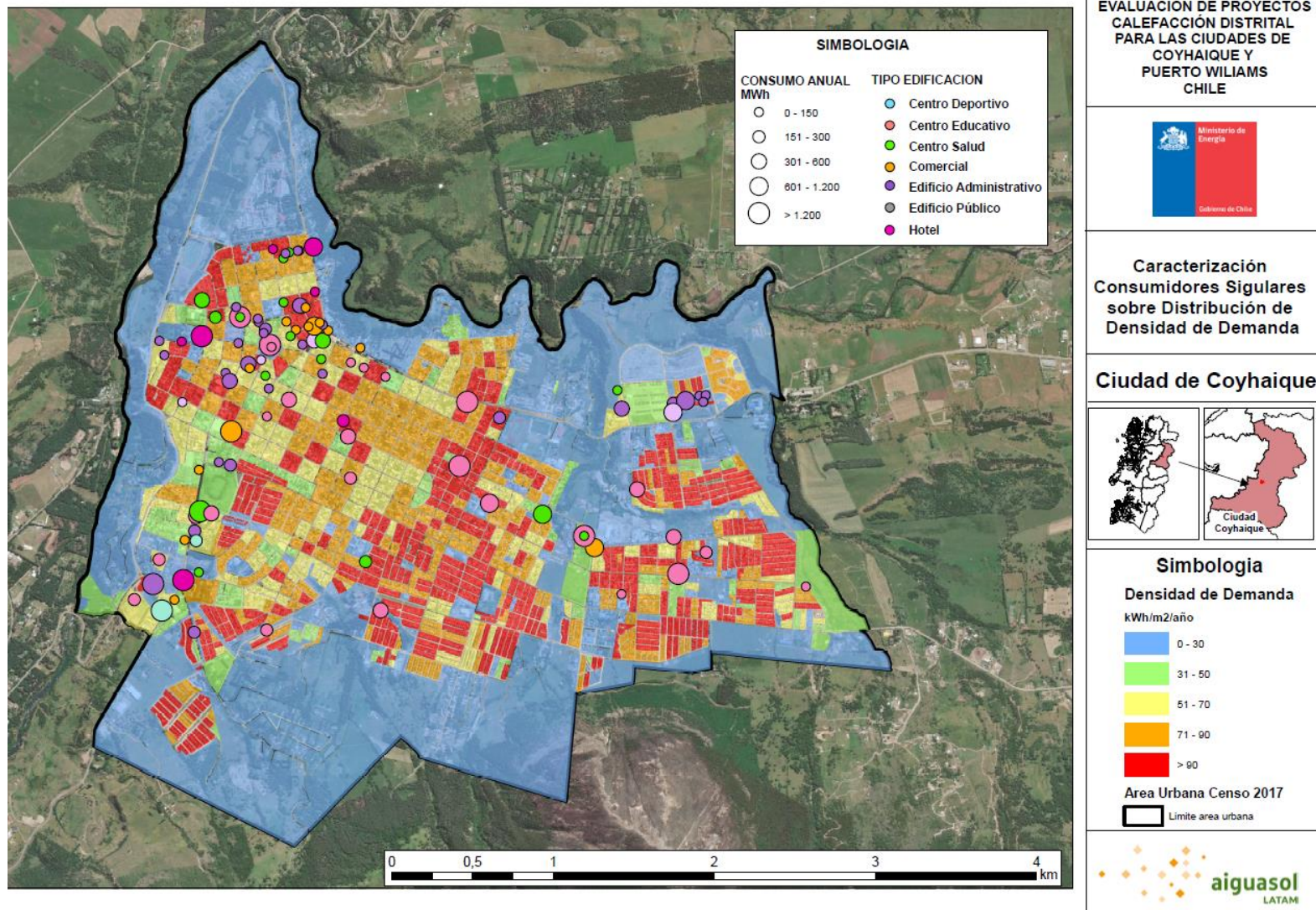


Ilustración 24. Mapa de densidades de demanda y consumidores singulares por volumen de demanda y tipología de uso



5.4. AFECTACIONES DEL PDA

Una vez identificados los edificios singulares, las potencias de las calderas utilizadas y los combustibles, se procedió a identificar que calderas se ven afectadas por el PDA vigente en la zona de Coyhaique. El PDA establece que las calderas que hacen uso de combustible gaseoso para funcionar, no se ven afectadas, mientras que las calderas nuevas, cuyas potencias son inferiores a 75 kW tienen un límite de emisión de 50mg/Nm³, bajo esta misma condición de potencia, no se especifica que sucede con las calderas existentes.

El hecho que estas calderas estén afectadas del PDA representa una oportunidad de negocio para el DH pues éstas pueden ser eliminadas y conectadas al sistema distrital, en lugar de invertir en medidas de mejora o recambio.

Sin embargo, para calderas existentes cuyas potencias son superiores a 75 kW se establecen los límites de emisión y niveles de PDA presentados en la siguiente tabla.

Tabla 10. Límites de emisión de MP10 para calderas existentes en Coyhaique

Condiciones	Límite MP [mg/Nm ³] Caldera Existente	Límite MP [mg/Nm ³] Caldera Nueva	Nivel
Potencia mayor o igual a 75 kW e inferior a 300kW	100	50	Afectado por PDA 1
Potencia Mayor o igual a 300 kW e inferior a 1MW	50	50	Afectado por PDA 2
Potencia mayor o igual que 1MW e inferior a 20 MW	50	50	Afectado por PDA 3
Potencia mayor o igual a 20MW	30	50	Afectado por PDA 4

Cabe mencionar que, de 103 calderas registradas, 67 de estas calderas se ven afectadas en algún nivel por el PDA, mientras que 36 calderas de este total se encuentran libres de aplicación de PDA como se puede apreciar en la Tabla 11.



Tabla 11. Resumen de aplicación del PDA en las calderas de edificios singulares

Nombre Edificio	Tipo de Uso	Situación PDA
Hotel Nómades	Hotel	Afectado por PDA 1
Comercial San Cristóbal	Comercial	Afectado por PDA 1
Parque Austral	Centro Deportivo	Afectado por PDA 1
Centro cultural Coyhaique	Edificio Público	Afectado por PDA 1
Edificio Obras Municipalidad	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Hotel Terramosqueto	Hotel	Afectado por PDA 1
Hotel los Ñires	Hotel	Afectado por PDA 1
Liceo Josefina Aguirre	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Liceo Juan Pablo II	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Escuela Pedro Quintana	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Colegio Alborada	Centro Educativo	Afectado por PDA 2
Colegio Alborada 2	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Centro Educación Adultos (ceia)	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Conaf los Coigües	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Jardín infantil mimos	Centro Educacional	No afectado por PDA
Consultorio Alejandro Gutiérrez	Centro Salud	Afectado por PDA 1
Jardín Infante Yemel	Centro Educacional	Afectado por PDA 1
Apart Hotel Carrillo	Hotel	Afectado por PDA 1
Hotel Español	Hotel	Afectado por PDA 1
Jardín infantil Futuro Austral	Centro Educacional	Afectado por PDA 1
Escuela Altamira de Coyhaique	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Vivienda fiscal Comandante en Jefe IV d.e.	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 2
Sucursal Coyhaique Banco Estado	Comercial	Afectado por PDA 1
Centro de Rehabilitación Club de Leones	Centro Salud	No afectado por PDA
Contraloría Regional de Aysén	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 1
Mutual de Seguridad CChC	Centro Salud	Afectado por PDA 1
Distribuidora Las Lechuzas Ltda.	Comercial	No afectado por PDA
Hogar de Ancianos Padre Antonio Ronchi	Centro Salud	No afectado por PDA
Subjefatura Zonal CMT Coyhaique	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Gobierno Regional de Aysén	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 1
Colegio Mater Dei	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Liceo Agrícola de la Patagonia	Centro Educativo	Afectado por PDA 2
Biblioteca Regional Aysén	Edificio Público	No afectado por PDA
Colegio Alianza Austral	Centro Educativo	Afectado por PDA 2
Soc. Comercial y Turística El Reloj Ltda.	Comercial	Afectado por PDA 1
Escuela Baquedano	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Centro Médico Coyhaique	Centro Salud	No afectado por PDA
Serviu Región de Aysén	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 2
Colegio Mater Dei	Centro Educativo	Afectado por PDA 2



Nombre Edificio	Tipo de Uso	Situación PDA
Colegio el camino de la fuente	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Colegio el camino	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Seremi desarrollo social (serplac)	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Jardin infantil kau-kalem	Centro Educacional	Afectado por PDA 1
Dirección regional JUNJI	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Supermercado Bigger (rendic hermanos)	Comercial	Afectado por PDA 2
Consultorio Víctor domingo silva	Centro Salud	No afectado por PDA
Cuartel Baquedano Policía investigaciones	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Ministerio de obras publicas	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 1
Colegio antoine de saint exupery de coyhaique	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Hotel Diego de Almagro	Hotel	Afectado por PDA 2
Defensoría regional de Aysén	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Dirección regional sename Aysén	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Hush pupies	Comercial	No afectado por PDA
Clínica Bilbao	Centro Salud	No afectado por PDA
AFP provida	Comercial	No afectado por PDA
Centro cumplimiento penitenciario Coyhaique	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Colegio diego portales (escuela san jose obrero)	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Abastecedora del comercio	Comercial	No afectado por PDA
Colegio xavier butiña	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Comercial Carrasco y Hernández s.a.	Comercial	No afectado por PDA
Consejo nacional de la cultura y las artes región de Aysén	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Dirección servicio de salud Aysén	Centro Salud	Afectado por PDA 1
Edificio apa aguas Patagonia	Comercial	Afectado por PDA 1
Jardín infantil nueva esperanza	Centro Educacional	No afectado por PDA
Liceo san Felipe Benicio	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Servicio salud Aysén (ex hotel turismo bagual)	Centro Salud	Afectado por PDA 1
Cine municipal Coyhaique	Comercial	Afectado por PDA 1
Crs Coyhaique	Centro Salud	Afectado por PDA 1
Centro rayen, sernam	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 2
Laboratorio Thomas	Centro Salud	No afectado por PDA
Escuela San José obrero (ex liceo juan pablo II)	Centro Educativo	Afectado por PDA 1
Hostal Viento Sur	Hotel	No afectado por PDA
Liceo República Argentina	Centro Educativo	Afectado por PDA 2
Lan chile (LATAM airlines)	Comercial	No afectado por PDA
Junaeb	Edificio Administrativo	No afectado por PDA



Nombre Edificio	Tipo de Uso	Situación PDA
Clínica odontológica Integral	Centro Salud	No afectado por PDA
Clínica odontológica Condell	Centro Salud	No afectado por PDA
Indap	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Seremi del medio ambiente	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Apart hotel rmbo sur	Hotel	Afectado por PDA 1
Sag oficina Coyhaique	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 2
Fonasa	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Departamento provincial de educación Coyhaique	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 2
Clinica polux (dussen s.a.)	Centro Salud	No afectado por PDA
Sag oficina los coigues	Edificio Administrativo	No afectado por PDA
Junji (zona agrícola)	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 2
Eleam - serviu (zona agrícola)	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 3
Centro cultural zona agrícola	Edificio Público	Afectado por PDA 2
Pdi zona agrícola	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 2
Servicio médico integral (servicio de salud escuela agrícola)	Centro Salud	No afectado por PDA
Senama	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 1
Sernam	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 1
Senadis	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 1
Dreams hotel casino spa	Hotel	Afectado por PDA 2
Intendencia regional de aysén	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 1
Universidad Tecnológica de Chile INACAP	Centro Educativo	Afectado por PDA 2
Policlínica Coyhaique ACHS	Centro Salud	Afectado por PDA 2
Toyota	Comercial	No afectado por PDA
Homecenter	Comercial	Afectado por PDA 1
Terminal de buses nuevo	Edificio Público	Afectado por PDA 1
Gimnasio Regional	Centro Deportivo	Afectado por PDA 1
Colegio España	Centro Educativo	Afectado por PDA 2
Juzgado de letras del trabajo y familia Coyhaique	Edificio Administrativo	Afectado por PDA 2

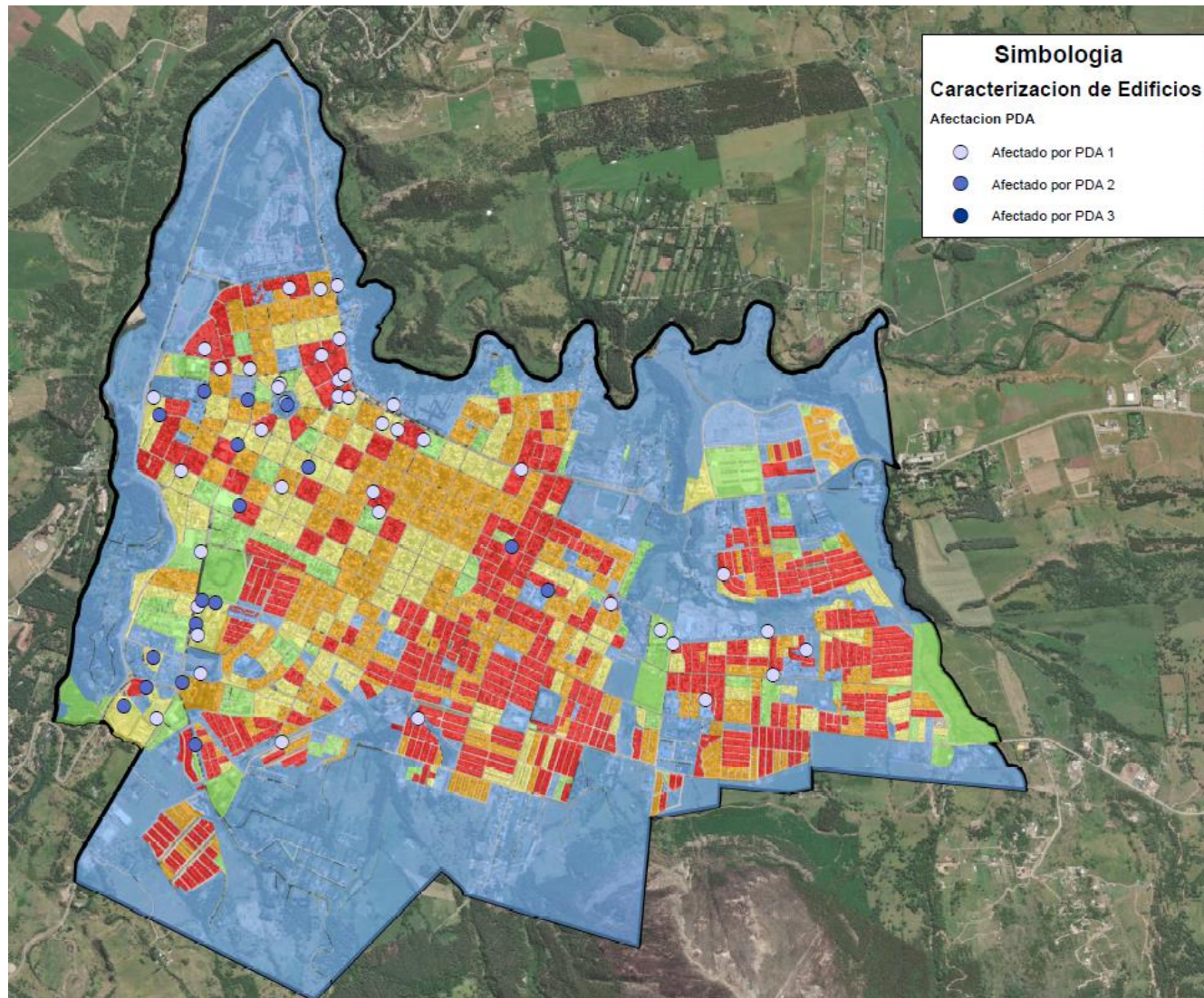


Ilustración 25. Mapa de densidades de demanda y consumidores singulares según su afectación por el PDA



5.5. DENSIDAD DE CONTAMINANTES

Un aspecto importante que considerar en la implementación de un sistema de calor distrital es la densidad de contaminantes derivados de los equipos de generación de calor presentes actualmente en cada edificación, dado que éstos son precisamente la problemática que motiva el proyecto y por lo tanto las zonas más emisoras de material particulado son las prioritarias a nivel estratégico. Interesa también evaluar las emisiones de CO₂ globales asociadas tanto al caso base como a los casos propuestos para visualizar si el cambio implica un incremento o una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Para una estimación correcta de los contaminantes es importante determinar el tipo de equipo de generación de calor que posee cada edificación, su uso y el tipo de combustible que utiliza para la generación. Todos los factores utilizados y la metodología a seguir se pueden encontrar en el Anexo 3, en la subsección “Cálculo de Consumo Energético y las Emisiones”.

Tabla 12. Densidad de contaminantes por tipo de edificación.

Tipologías Constructivas	Tipo	MP10 [kg/kWh]	MP2,5 [kg/kWh]	CO2 [kg/kWh]
Uni-A-A0	Casas	0,006400	0,005933	0,046550
Uni-A-AT	Casas	0,006224	0,005766	0,054456
Uni-A-AMT	Casas	0,010282	0,009538	0,063563
Uni-T-AL	Casas	0,001935	0,001773	0,052739
Uni-A-AL	Casas	0,010520	0,009763	0,057604
Uni-T-A0	Casas	0,002006	0,001843	0,045344
Uni-T-AT	Casas	0,002405	0,002210	0,053047
Uni-T-AMT	Casas	0,001891	0,001728	0,061569
Mul-H-A0	Departamento	0,000011	0,000002	0,257400
Mul-H-AT	Departamento	0,000011	0,000002	0,257400
Mul-H-AMT	Departamento	0,000011	0,000002	0,257400
Ofi-T-A0	Edificio Administrativo	0,000008	0,000005	0,227160
Ofi-T-CES	Edificio Administrativo	0,000008	0,000005	0,227160
Ofi-H-A0	Edificio Administrativo	0,000008	0,000005	0,227160
Ofi-H-CES	Edificio Público	0,000471	0,000446	0,000000
Ofi-A-CES	Edificio Público	0,000471	0,000446	0,000000
Com-T-A0	Comercial	0,000008	0,000005	0,227160
Com-T-CES	Comercial	0,000008	0,000005	0,227160
Com-H-A0	Comercial	0,000008	0,000005	0,227160
Com-H-CES	Comercial	0,000008	0,000005	0,227160
Com-A-CES	Comercial	0,000008	0,000005	0,227160
Com-A-A0	Comercial	0,000008	0,000005	0,227160



Tipologías Constructivas	Tipo	MP10 [kg/kWh]	MP2,5 [kg/kWh]	CO2 [kg/kWh]
ADM	Edificio Administrativo	0,000008	0,000005	0,227160
COM	Comercial	0,000008	0,000005	0,227160
HOTEL	Hotel	0,000008	0,000005	0,227160
HOSPITAL	Centro de Salud	0,000471	0,000446	0,000000
COL	Colegios	0,000471	0,000446	0,000000
CS	Centro de Salud	0,000471	0,000446	0,000000
DEP	Deportivo	0,000471	0,000446	0,000000

A partir de estos datos se determinaron los niveles de contaminación en la ciudad de Coyhaique, tal como se muestra en la Tabla 13, y que puede ser visto en los mapas de contaminantes mostrados en Ilustración 27.

Tabla 13. Niveles de contaminación en Coyhaique

Contaminante	Densidad [kg/kWh]
PM10	1,9240
PM2,5	1,7644

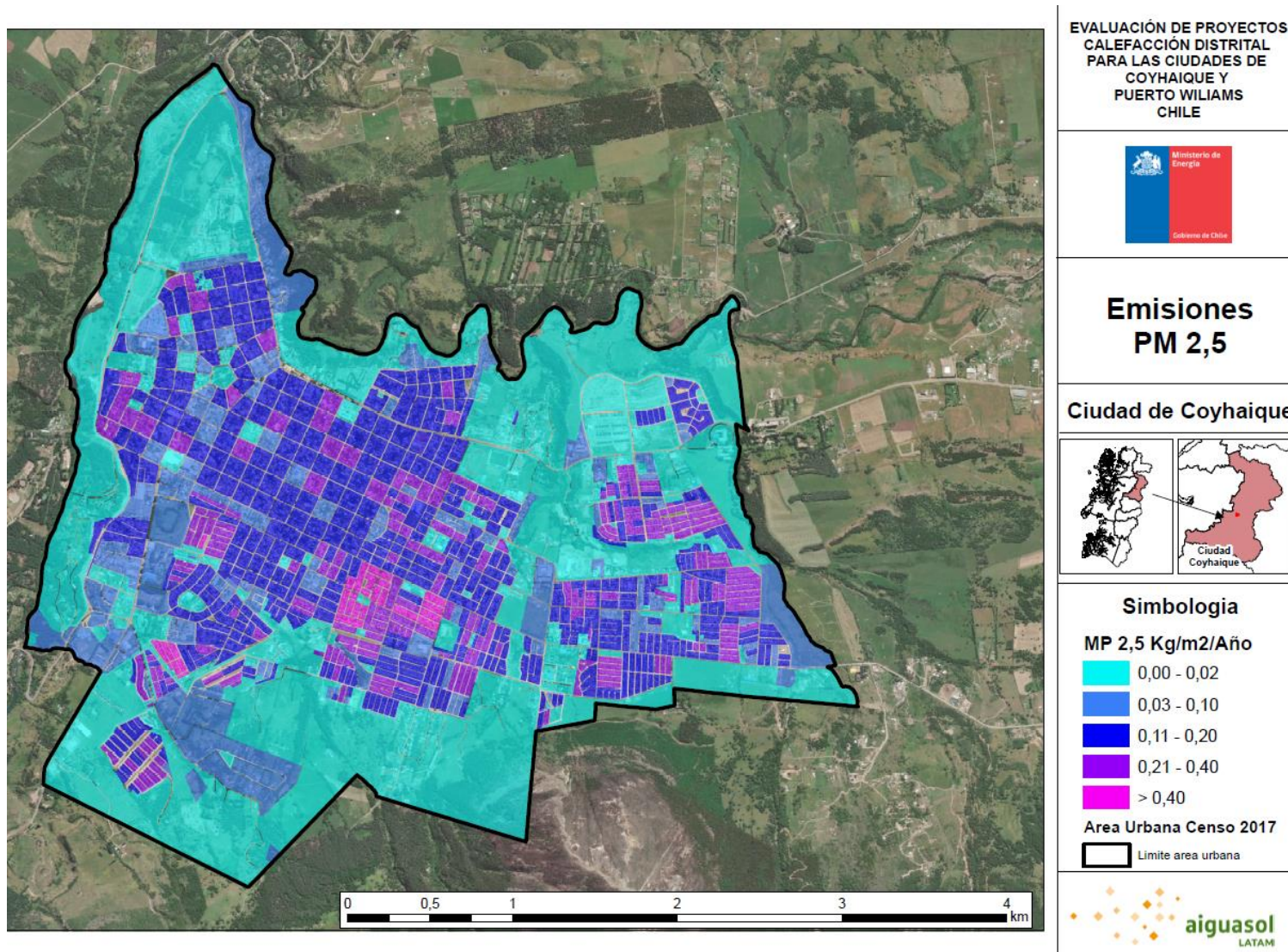
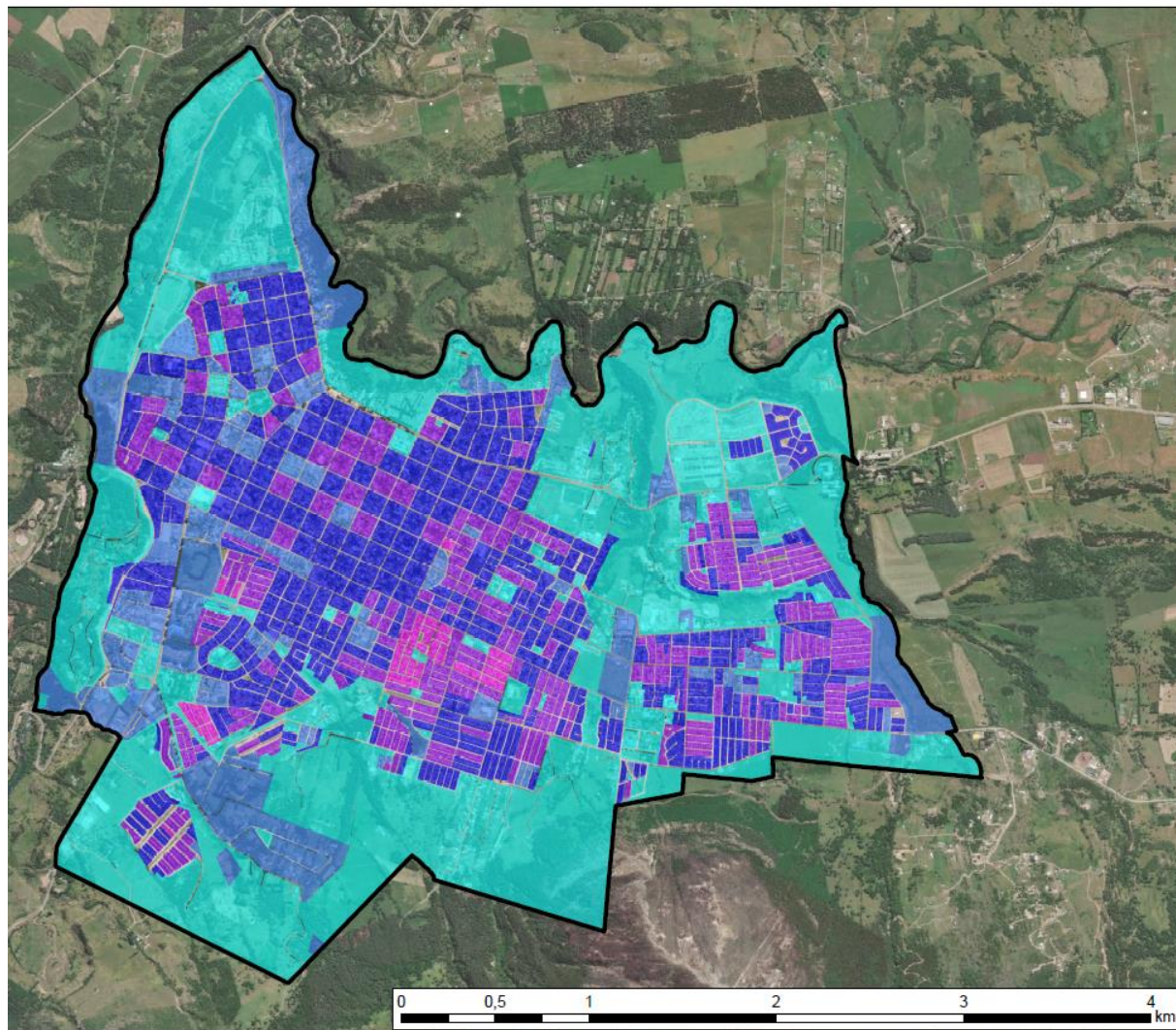


Ilustración 26. Mapas de emisiones PM2,5 por manzana según modelo (ver anexo de cartografía para detalle)

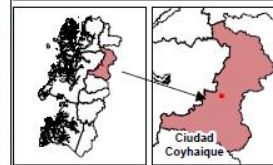


EVALUACIÓN DE PROYECTOS
CALEFACCIÓN DISTRITAL
PARA LAS CIUDADES DE
COYHAIQUE Y
PUERTO WILIAMS
CHILE



**Emisiones
PM 10**

Ciudad de Coyhaique



Simbología

MP 10 Kg/m2/Año

- 0,00 - 0,02
- 0,03 - 0,10
- 0,11 - 0,20
- 0,21 - 0,40
- > 0,40

Area Urbana Censo 2017

- Limite area urbana



Ilustración 27. Mapas de emisiones PM_{2,5} por manzana según modelo (ver anexo de cartografía para detalle)



5.6. DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA

La Ilustración 28 y la Ilustración 29 muestran mapas de densidad de potencia y potencia instalada respectivamente, por manzana, en Coyhaique.

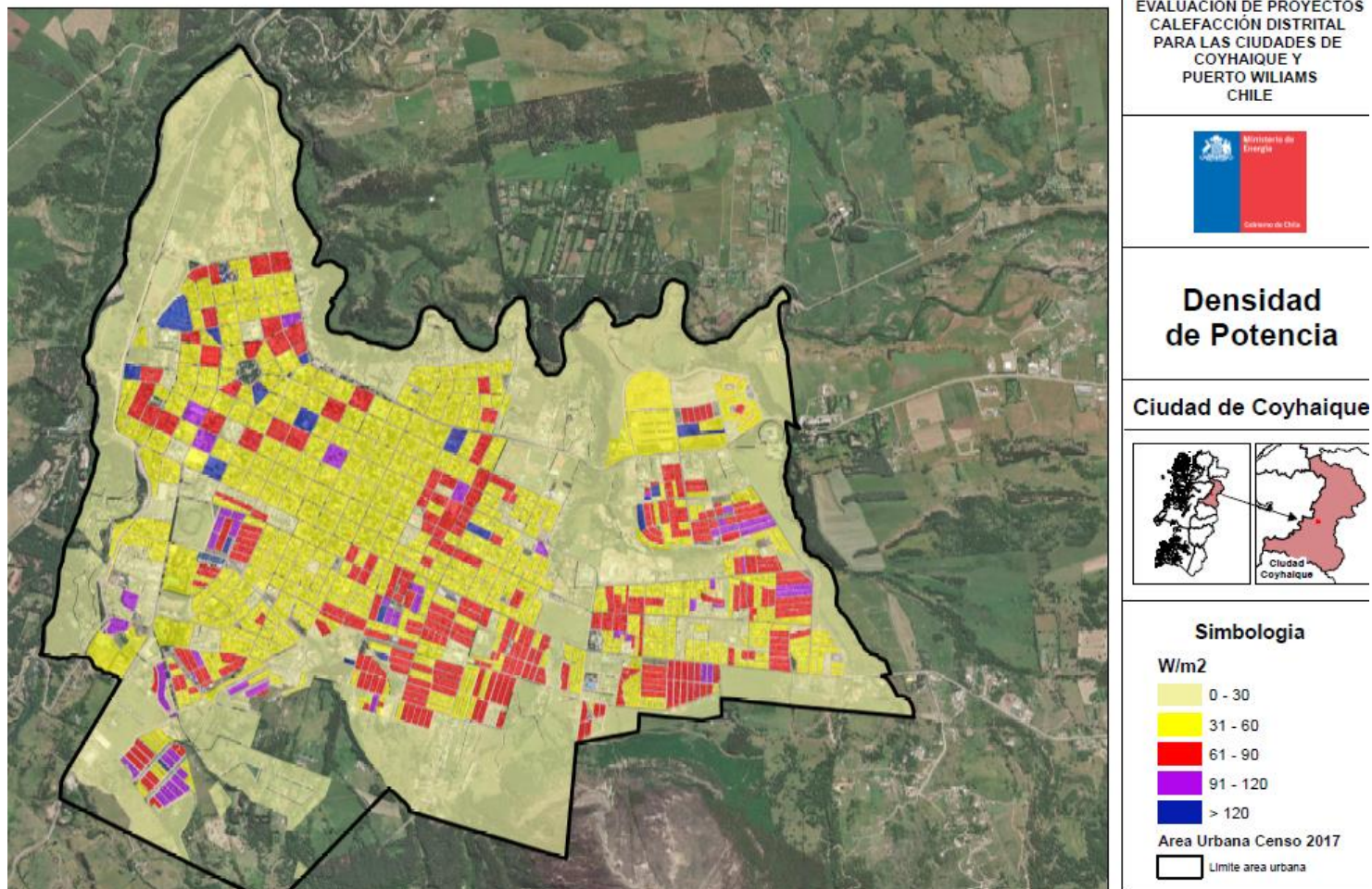


Ilustración 28. Mapa de Densidad de Potencia por manzana, Coyhaique (ver anexo de cartografía para detalle)

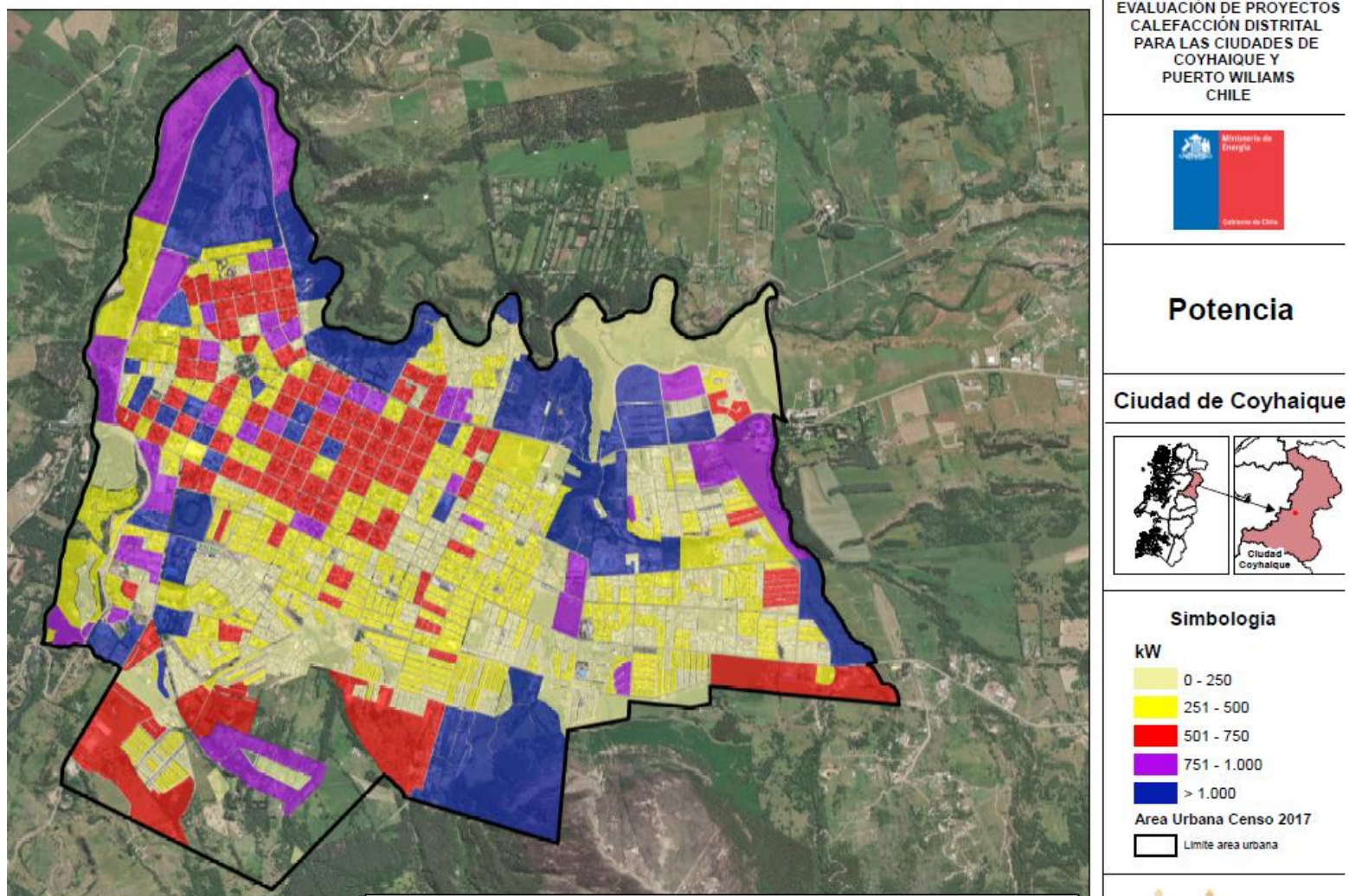


Ilustración 29. Mapa de Potencia por manzana, Coyhaique (ver anexo de cartografía para detalle)



La metodología para el cálculo de estas potencias viene del cálculo de demanda de energía por manzana, la que se detalla en los Anexos de este Informe. De la Ilustración 28 se puede observar que la mayor parte de la ciudad se encuentra en rangos de densidad de Potencia entre 31 y 60 W/m², con algunos centros más densos, mayoritariamente entre 91 y 120 W/m². Existe un polo de concentración de densidad de potencia, entre las calles Victoria y Gastón Adasme. Esto se debe principalmente a la alta densidad poblacional de la zona, como se puede apreciar en la Ilustración 30.

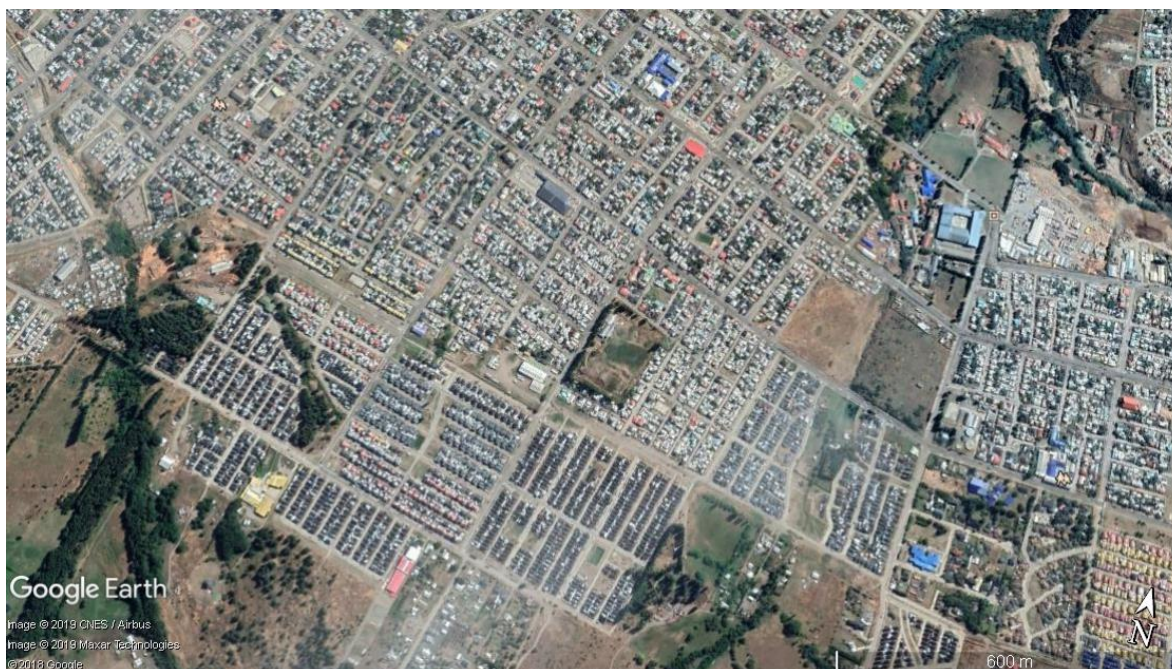


Ilustración 30. Zona de Coyhaique con alta densidad poblacional

Por otro lado, resulta interesante la situación de las manzanas del norte de la ciudad. Del mapa de Potencia se observa que las manzanas ubicadas al noroeste de la ciudad tienen una potencia instalada alta, pero poca densidad de potencia. Este es un aspecto interesante pues una potencia instalada alta supone un alto costo al tener que alimentar esa manzana con un tubo de mayor diámetro. Por otro lado, la baja densidad de potencia podría resultar en una manzana poco atractiva en términos de rentabilidad del proyecto. Esto, a diferencia de las casas inmersas en el centro de la ciudad en donde se tiene una potencia instalada no tan alta (tubos de menor diámetro) pero mayor densidad de potencia.



5.7. ESCENARIOS DE DEMANDA FUTURA

Se analiza la posibilidad de una reducción de demanda por reacondicionamiento térmico en la ciudad. Para el análisis se consideró que, en las condiciones actuales de la ciudad, y de acuerdo a las tipologías simuladas, se tiene la distribución de superficie construida por tipología que indica la Tabla 14.

Tabla 14: Superficie construida actualmente por tipología simulada

TIPOLOGÍA	SUPERFICIE CONSTRUIDA [m ²]
Uni-T-A0	496.958
Uni-T-AT	189.670
Uni-T-AMT	197.976
Uni-A-A0	53.485
Uni-A-AT	12.200
Uni-A-AMT	5.757
Uni-T-AL	8.452
Uni-A-AL	60

Se observa de la tabla que se tienen 760.825 m² correspondientes a tipologías de tipo A0 y AT, que corresponden a viviendas unifamiliares sin aislación y con aislación en techos (se describe en detalle en el documento de Anexos). El reacondicionamiento térmico se analizó reemplazando las viviendas con peores condiciones de aislación y pasándolas a tipología de vivienda aislada, de modo que la superficie construida de estas últimas aumentara. De este modo, las superficies construidas bajo las condiciones del escenario 1 quedan como se detalla en la Tabla 15. La idea de trabajar mediante un reemplazo de superficies construidas se relaciona con la posibilidad de luego ponderar esta nueva superficie por la demanda específica correspondiente a cada tipología simulada.



Tabla 15: Superficie construida bajo condiciones de reacondicionamiento térmico por tipología simulada

TIPOLOGÍA	SUPERFICIE CONSTRUIDA [m2]
Uni-T-A0	0
Uni-T-AT	0
Uni-T-AMT	884.605
Uni-A-A0	0
Uni-A-AT	0
Uni-A-AMT	71.441
Uni-T-AL	8.452
Uni-A-AL	60

Considerando la demanda específica por tipología se calcula entonces la reducción de demanda de la ciudad, llegando a los resultados que se indican en el gráfico de la Ilustración 31.

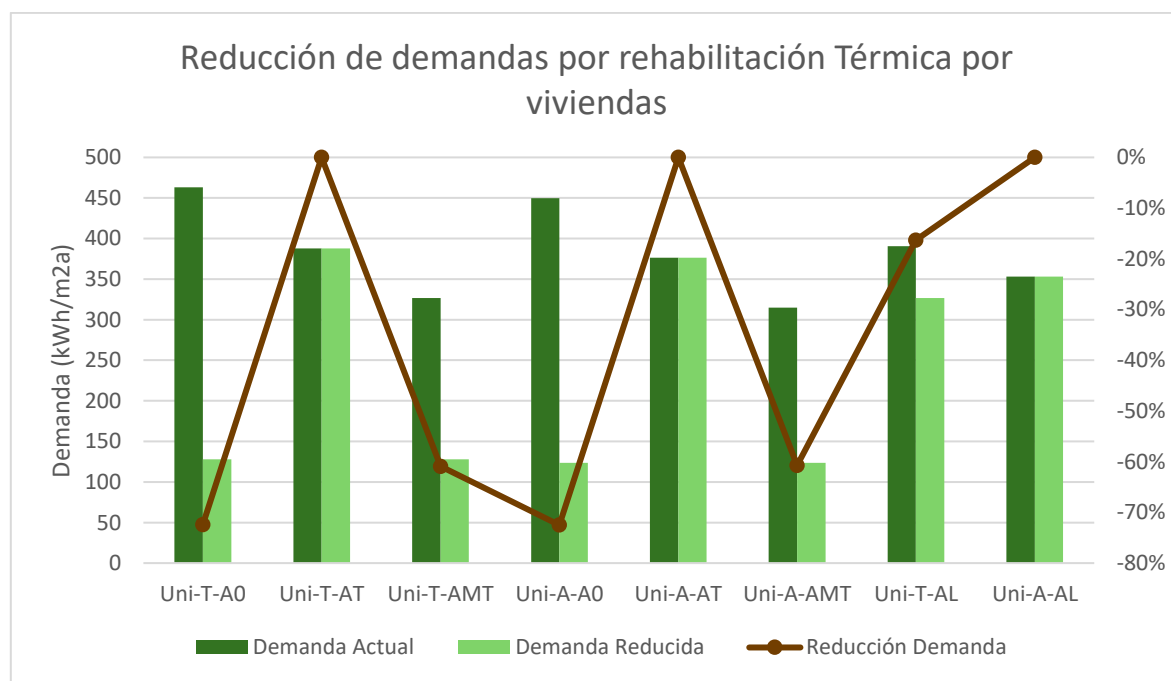


Ilustración 31: Reducción de demanda por tipología para Escenario 1.



6. ANÁLISIS DE BRECHAS PARA CONEXIÓN

6.1. TÉCNICAS

Desde un punto de vista técnico, la conexión de las viviendas de Coyhaique al sistema de calefacción distrital no presenta ninguna dificultad añadida especial, más allá del requerimiento de abrir calles para llegar a las fachadas de las casas sobre las que se encuentran los actuales sistemas de producción de ACS, sea calefón (19%) o termoacumulador (81%), en las que se instalará el sistema de interconexión.

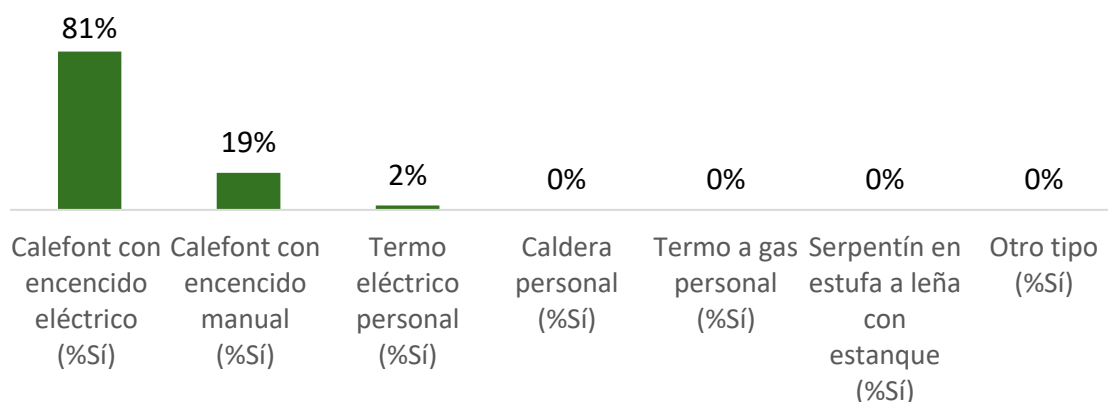


Ilustración 32. ¿Cuáles de los siguientes tipos de artefactos para calentar agua por cañería se utilizan en esta vivienda? (N=18.468)

La problemática principal proviene del hecho que el 100% de las casas no disponen de sistema de radiadores para la distribución de calor de calefacción, lo que obliga a intervenir la práctica totalidad de éstas para, posteriormente, poder conectarlas.

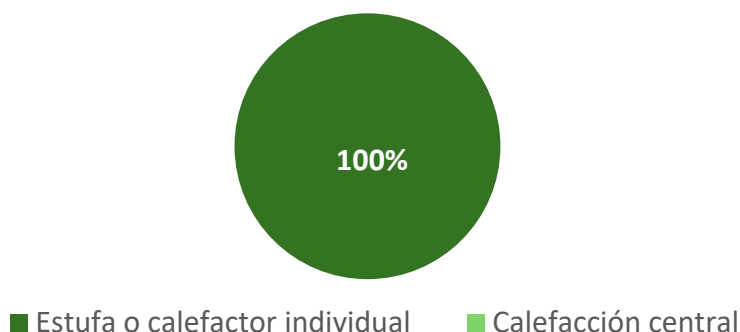


Ilustración 33. ¿Qué tipo de calefacción usa? (N=18.468)



En otro orden de cosas, según la encuesta llevada a cabo en el marco del presente proyecto, un 35% de las casas usan leña para cocinar, manteniendo prendidos estos equipos que no pueden ser substituidos ni técnica ni culturalmente por la calefacción distrital.

Finalmente, la mala aislación de las viviendas, supone un doble hándicap para la introducción de los sistemas distritales. Por un lado, el bajo confort térmico pasivo asociado a la sensación térmica tanto por balance radiativo con los elementos como por infiltraciones, tiene una compensación muy grata con un sistema de alta radiación, como una estufa de leña o de pellet, cosa que no se logra con un radiador a 80°C. Por otro lado, la gestión de un sistema de calefacción con termostato, tiene un riesgo de alto consumo, que puede derivar en facturaciones desorbitadas asociadas a consumos energéticos descontrolados.

6.2. SOCIO ECONÓMICAS

A priori se identifican 4 barreras de tipo socio económico para la penetración de los sistemas distritales en Coyhaique:

- La estructura de la propiedad
- El apego a la cocina de leña
- El desconocimiento de esta solución
- El desinterés en cambiar de sistema

En contrapartida, sí que existe una alta consciencia del problema de contaminación ambiental y la disposición a pagar más por la calefacción si esta es más limpia y confortable, tal como se observa en los dos gráficos siguientes:



Ilustración 34. Por un sistema de calefacción menos contaminante y que le haga sentir más confortable ¿Estaría dispuesto a pagar más dinero que lo que paga actualmente? (N=5.247)

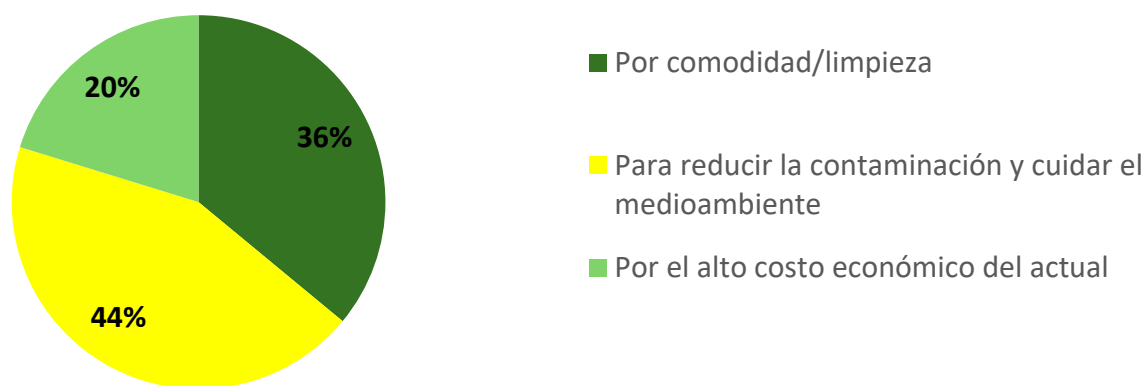


Ilustración 35. ¿Por qué se cambiaría de su actual sistema de calefacción? (N=5.247)

Respecto a la estructura de la propiedad, Coyhaique presenta un alto porcentaje de hogares (73%) en los que los habitantes no son propietarios. Esto dificulta la toma de decisión de conectarse al sistema distrital, dado que se serializa la decisión en dos pasos, lo que requiere que ambos actores, propietario y usuario, quieran conectar, la casa el primero, y su consumo, el segundo.

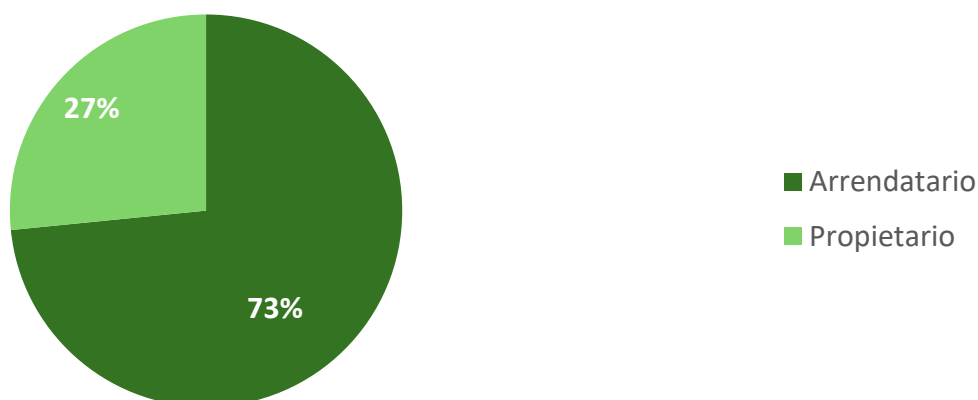


Ilustración 36. Relación del hogar con la vivienda (N=18.468)

Respecto al uso de cocinas de leña, el gran apego cultural a las mismas, representa una barrera, especialmente si se pretende su eliminación mediante el sistema de calefacción distrital. Si la gente asocia la calefacción distrital con la retirada de las cocinas a leña, se generará una oposición importante a la primera. Por otra parte, el hecho de mantener la cocina a leña, obliga a mantener la compra y acopio de leña, lo que neutraliza una de las ventajas de la calefacción distrital, que es la eliminación de la leña y la suciedad asociada de la casa.

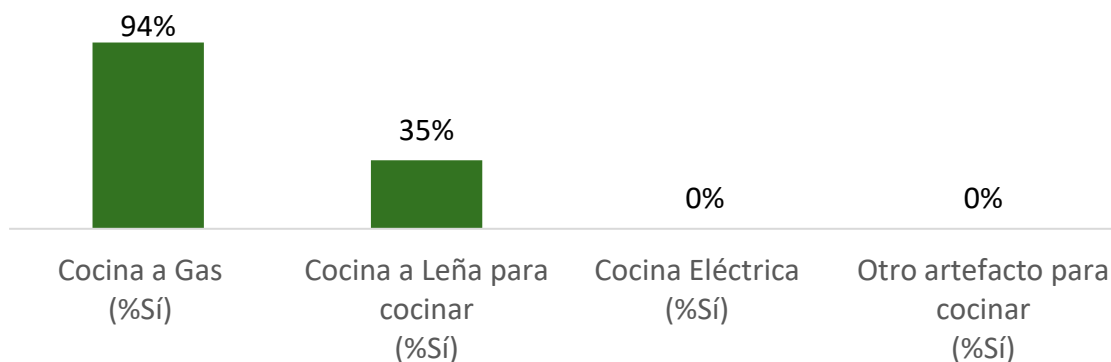


Ilustración 37. En esta vivienda ¿Cuáles de los siguientes artefactos utiliza para cocinar? (N=18.468)

Por otra parte, así como en la práctica, la totalidad de las personas de Coyhaique conoce lo que es una estufa de pellet, sólo un 26% dice saber lo que es un sistema de calefacción distrital, y por lo tanto sus ventajas asociadas. Lógicamente este gran desconocimiento es una importante barrera a la aceptación de esta solución.



Ilustración 38. ¿Usted conoce o ha oído hablar del sistema de calefacción distrital? (N=18.468)

Finalmente se ha identificado que sólo un 29% de los encuestados está interesado o muy interesado en cambiar su sistema de calefacción, mientras que un 50% está poco o nada interesado. El 66% no se cambiaría el sistema porque le gusta el actual o por costumbre del mismo, mientras que un 38% no está dispuesto o nada dispuesto a incorporar un sistema de radiadores en su casa.



Ilustración 39 ¿Cuán interesado estaría de cambiar su actual sistema de calefacción? (N=18.468)

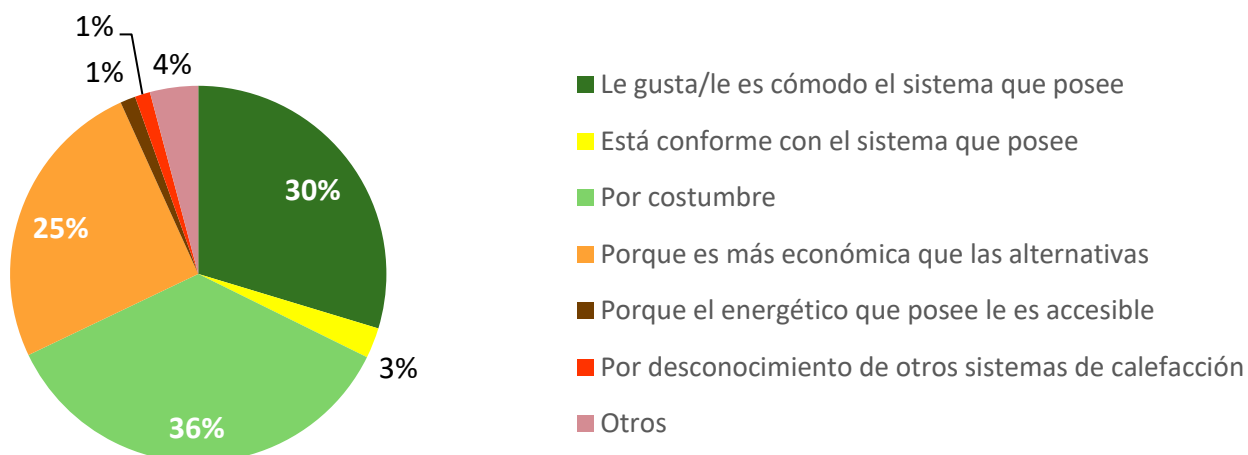


Ilustración 40. ¿Por qué NO se cambiaría de su actual sistema de calefacción? (N=13.501)



Ilustración 41. ¿Cuán dispuesto estaría de incorporar un sistema de calefacción a través de cañerías y radiadores en su hogar?
(N=18.468)



7. DEFINICIÓN DEL PROYECTO DE CALEFACCIÓN DISTRITAL

7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Se ha diseñado un sistema de calefacción distrital para dar servicio a la totalidad de los consumidores de calor integrados en la zona urbana de Coyhaique, incluyendo todos los consumidores singulares, todas las casas y todos los edificios de departamentos.

Se ha propuesto un proceso de implantación en un período de 5 años cubriendo 5 fases que incluyen tres centrales térmicas dentro de la ciudad y una infraestructura de acopio y procesamiento de biomasa a las afueras de la misma. Desde el año 1, el sistema consumirá por encima de un 88% de biomasa de producción local, complementada con GLP.

El sistema de generación llegará a sumas, entre las tres centrales, 105 MWt de calderas de biomasa y 110 MWt de calderas de GLP y una capacidad de acumulación térmica de casi 8.000m³ de agua caliente en acumuladores soterrados.

El sistema requiere una inversión de 136.415MMCLP, para lograr una reducción efectiva del 99,9% de las emisiones de material particulado y un 64% de las de CO₂ correspondientes al parque edificatorio de la ciudad. Su viabilidad como inversión privada, pasa por aplicar unas tarifas de venta de calor un 21% superiores a los costos de referencia actuales, lo cual se considera muy viable y aceptable, dado el esperado incremento de costos de la leña por la formalización del mercado, producto de la ley de biocombustibles sólidos. En estas condiciones, el proyecto tiene una TIR del 12% sin inversión pública⁸ y genera un retorno social acumulado durante los 30 años de concesión del sistema es de 695.369MMCLP.

Finalmente, la demanda estructurada y garantizada de un mercado de biomasa de cerca de 110.000Tn anuales de biomasa, generará hasta 274 puestos de trabajo continuos solo en la explotación y procesamiento de la biomasa, a parte de aquellos asociados a la operación y mantenimiento del sistema térmico.

Es importante tener en cuenta que estos números consideran una penetración promedio del 90%. Es decir que el 90% de la demanda contenida en el ámbito se conecta al sistema.

⁸ El proyecto cuenta con un aporte público en la Fase 0, Escuela Agrícola, de 1.900MMCLP ya aprobados y que se han considerado dentro del flujo de caja.



7.2. DEFINICIÓN E INDICADORES DEL FASEADO

La definición del faseado se ha llevado a cabo integrando distintas variables de interés, entre las que se cuentan la densidad de demanda, la existencia de consumidores singulares y clientes ancla, así como las dinámicas existentes en la ciudad.

Observando del mapa de demanda con los consumidores singulares, se observa claramente que el polo poniente de la ciudad, desde la avenida Organa hasta la Plaza de Armas, resulta el lugar más adecuado para el desarrollo del negocio del sistema distrital, pero se ha tomado en cuenta también el avanzado estado de desarrollo del proyecto de Escuela Agrícola que cuenta con ingeniería desarrollada y fondos públicos comprometidos, a lo que hay que sumar que se encuentra muy próxima a los futuros loteos del MINVU que también podrían funcionar con energía distrital.

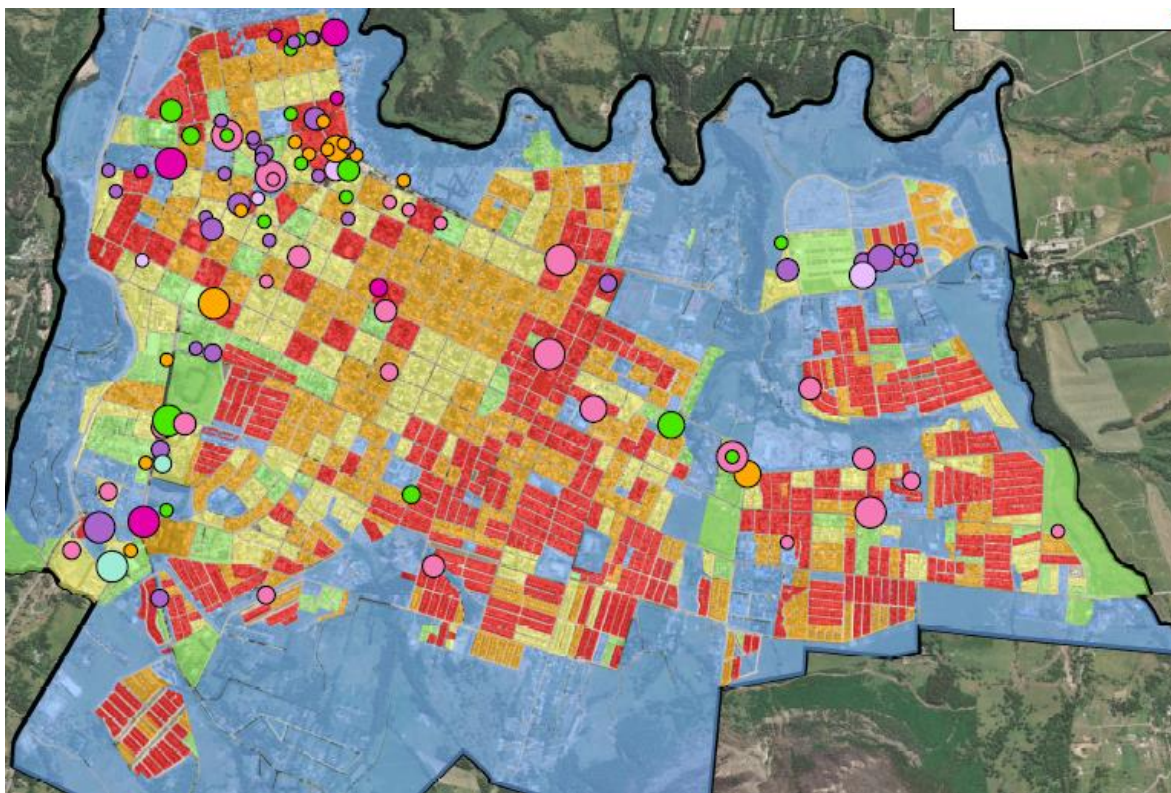


Ilustración 42. Detalle del mapa de demandas y consumidores singulares

Por todo lo anterior se ha propuesto un desarrollo desde los dos polos, iniciando la operación desde la Escuela Agrícola en una suerte de Fase 0 intensamente subsidiada, que una vez establecida podrá



crecer hacia el sur (Fase 1), para iniciar en la Fase 2 el desarrollo de la zona poniente. El centro de la ciudad será cubierto en las Fases 3 y 4 como extensiones de las zonas 0/1 y 2.

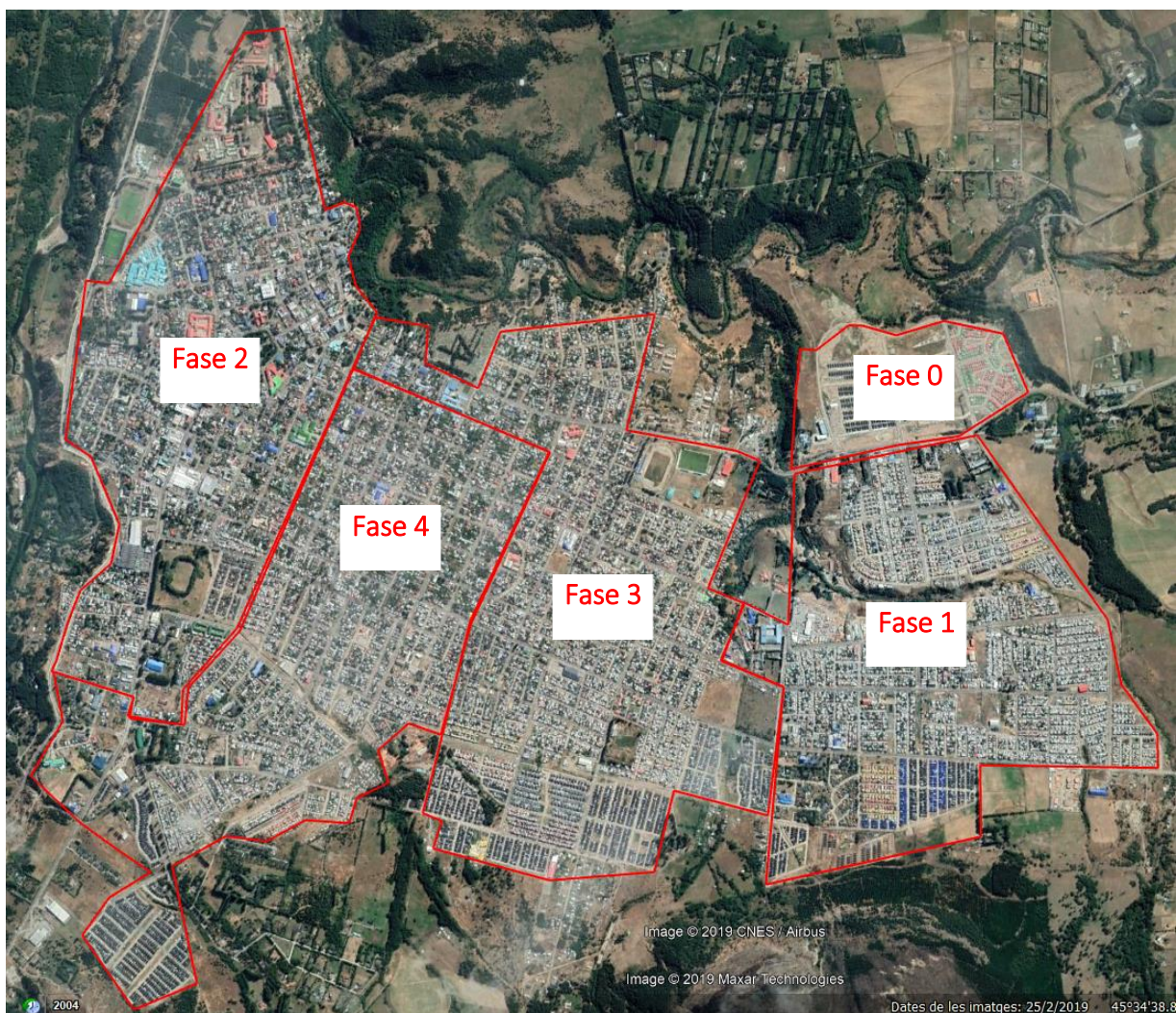


Ilustración 43. Definición de zonas a cubrir en cada una de las fases de desarrollo.

A continuación, se presentan los indicadores definitorios de cada una de las fases de desarrollo.



Tabla 16. Tabla resumen de parámetros técnicos de la red de Coyhaique por Fases

Fase		0	1	2	3	4
Año		1	2	3	4	5
Número						
Casas dentro del ámbito		349	5.415	7.701	14.595	19.758
Casas conectadas		314	4.874	6.931	13.136	17.782
Departamentos		0	0	240	266	312
Demanda						
Casas	<i>MWh/a</i>	12.280	92.963	193.165	310.497	417.944
Departamentos	<i>MWh/a</i>	4.997	79.792	144.801	249.669	343.204
Otros	<i>MWh/a</i>	0	0	10.140	11.850	13.218
	<i>MWh/a</i>	7.284	13.172	38.224	48.978	61.523
Pérdidas de red por fases	<i>MWh/a</i>					
Pérdidas de red agregadas	<i>MWh/a</i>	1.366	10.821	9.663	12.981	9.783
Pérdidas acumulación	<i>MWh/a</i>	1.366	12.187	21.850	34.832	44.615
	<i>MWh/a</i>	14	360	579	806	1.004
Aporte energía solar	<i>MWh/a</i>					
Aporte calderas biomasa	<i>MWh/a</i>	11.940	95.014	193.471	309.707	417.133
Aporte calderas gas	<i>MWh/a</i>	1.638	9.470	20.039	32.910	41.716
Aporte bombas de calor	<i>MWh/a</i>					
Consumo de biomasa	<i>MWh/a</i>	13.267	105.572	214.968	344.119	463.481
Consumo de gas	<i>MWh/a</i>	1.820	10.522	22.265	36.566	46.351
Consumo de electricidad	<i>MWh/a</i>	136	1.052	2.150	3.453	4.626
Potencia Instalada	<i>MW</i>	7	49	100	160	215
Potencia Biomasa	<i>MW</i>	3	25	50	80	110
Potencia Gas	<i>MW</i>	4	24	50	80	105
Volumen de acumulación	<i>m3</i>	235	1.811	3.704	5.948	7.968
Superficie Edificios	<i>m2</i>	1.000	7.400	15.000	24.000	32.500

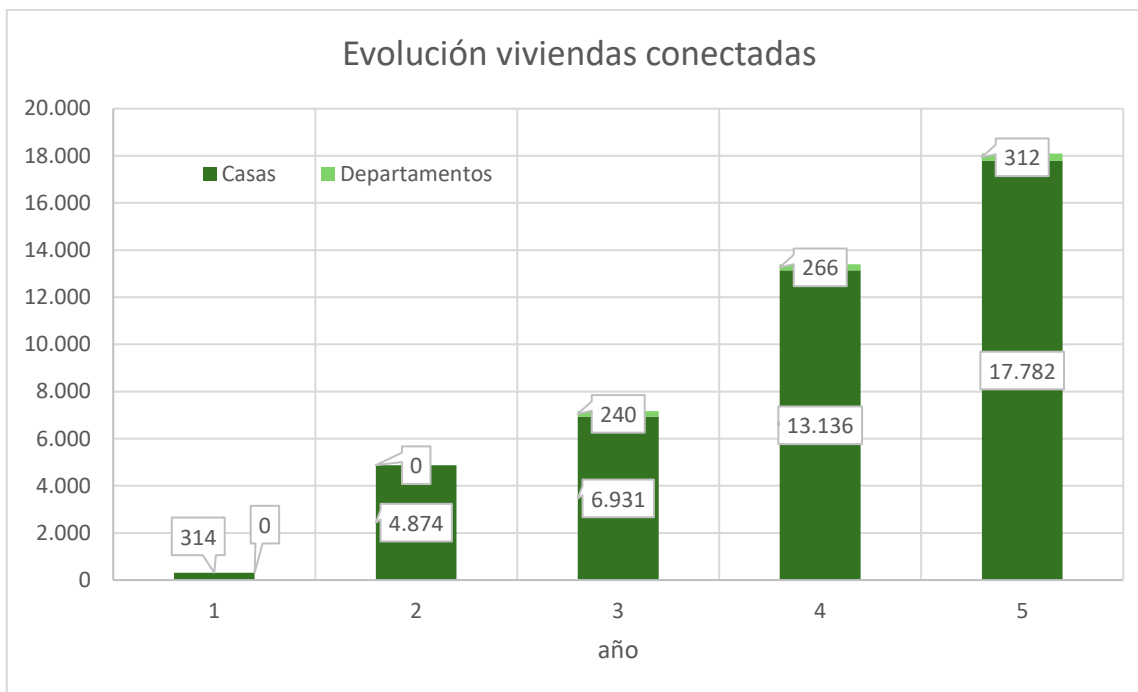


Ilustración 44. Evolución del número de viviendas por años

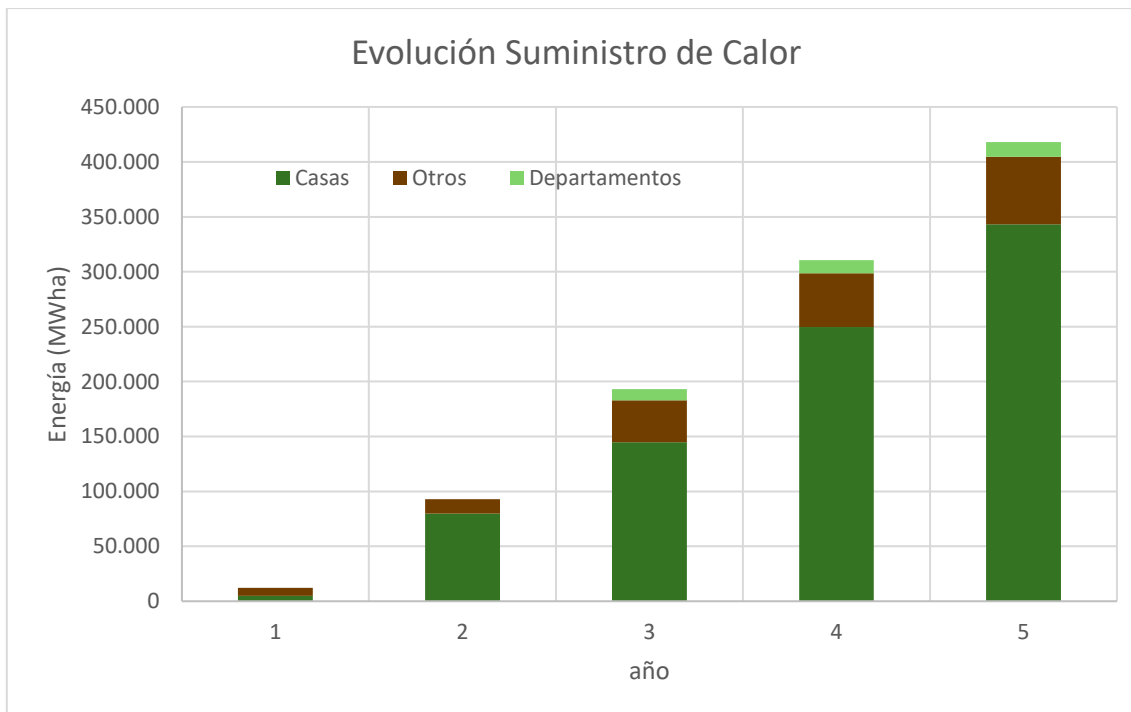


Ilustración 45. Evolución de la energía suministrada por años

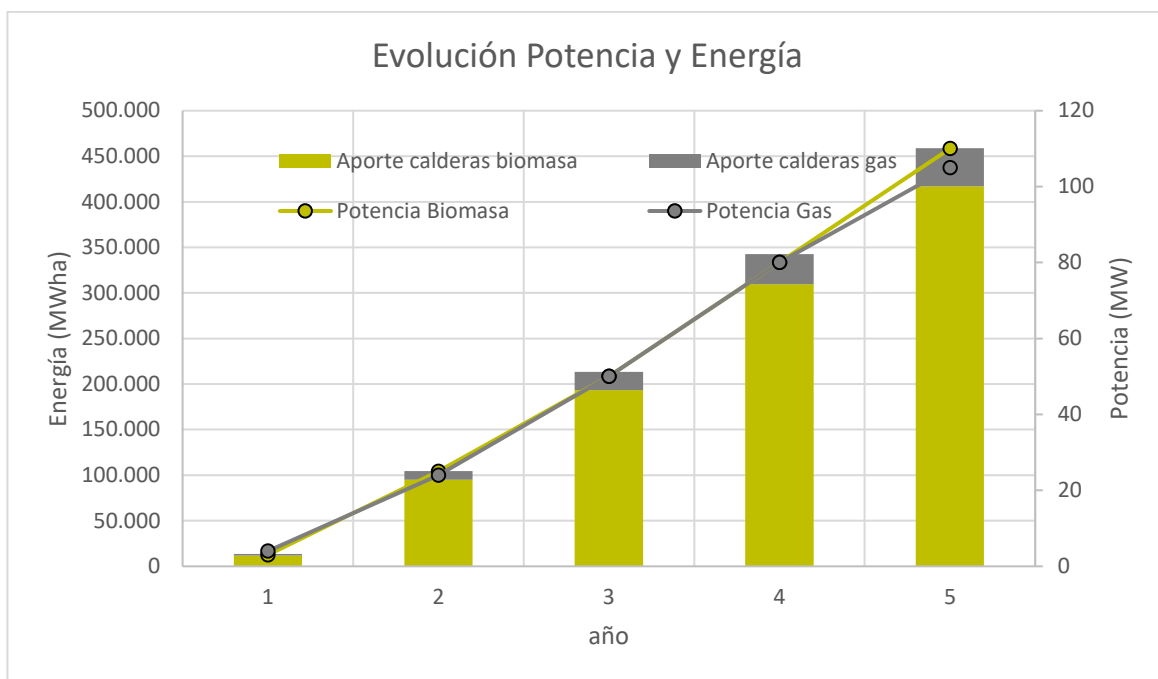


Ilustración 46. Evolución de la potencia instalada y la energía suministrada por años y tecnologías

Tabla 17. Tabla resumen de parámetros ambientales y sociales de la red de Coyhaique por Fases

Fase		0	1	2	3	4
Año		1	2	3	4	5
Emisiones MP10 evitadas	Tn/año	-62	-963	-1.749	-3.013	-4.139
Emisiones MP2,5 evitadas	Tn/año	-57	-886	-1.609	-2.771	-3.807
Emisiones CO ₂ evitadas	Tn/año	-932	-5.344	-15.480	-22.191	-29.213
Emisiones MP10 sistema	Tn/año	0	0	1	1	2
Emisiones MP2,5 sistema	Tn/año	0	1	1	2	3
Emisiones CO ₂ sistema	Tn/año	413	2.390	5.058	8.306	10.529
Balance Emisiones MP10	Tn/año	-62	-962	-1.748	-3.011	-4.137
Balance Emisiones MP2,5	Tn/año	-57	-885	-1.607	-2.769	-3.804
Balance Emisiones CO ₂	Tn/año	-519	-2.954	-10.422	-13.884	-18.684
Reducción Emisiones MP10		99,9%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%
Reducción Emisiones MP2,5		99,8%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%
Reducción Emisiones CO ₂		55,6%	55,3%	67,3%	62,6%	64,0%
Consumo de biomasa	Tn/a	3.170	25.226	51.366	82.227	110.748
Puestos de trabajo biomasa		8	62	127	203	274
Beneficios sociales PDA	MMCLP/a	219	3.383	6.145	10.586	14.544
Beneficios sociales CO ₂	MMCLP/a	12	67	236	315	423

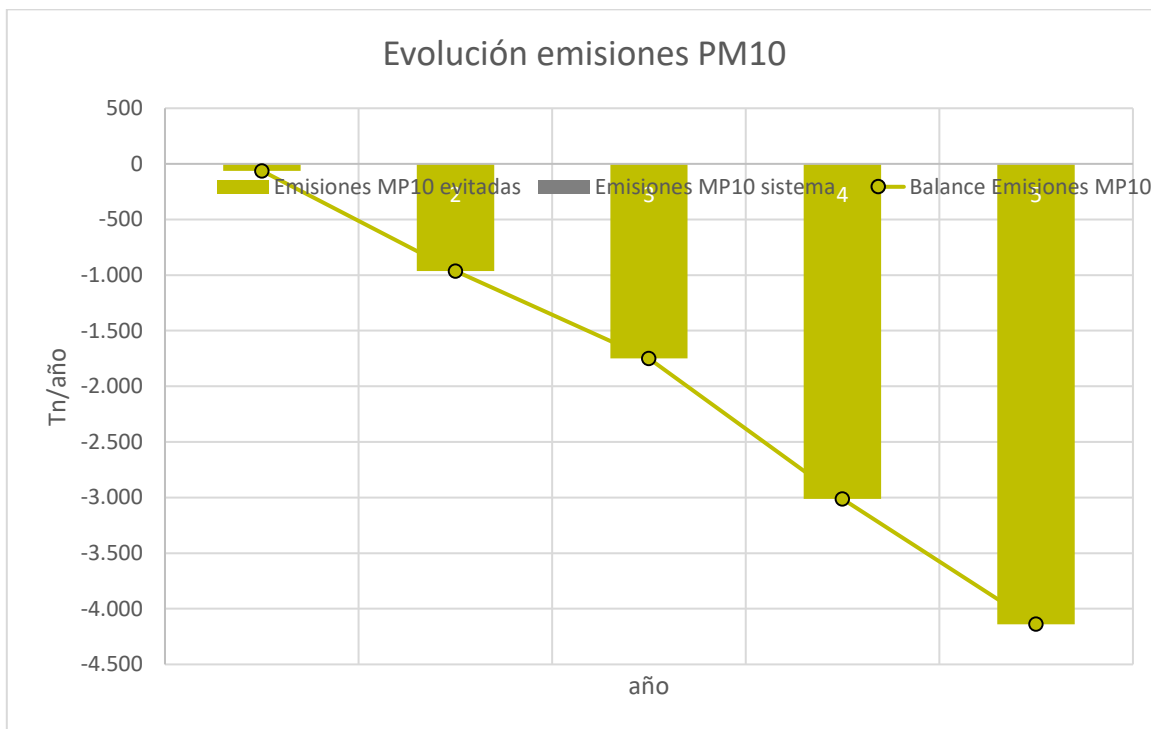


Ilustración 47. Evolución de las emisiones de PM10 anuales evitadas por años

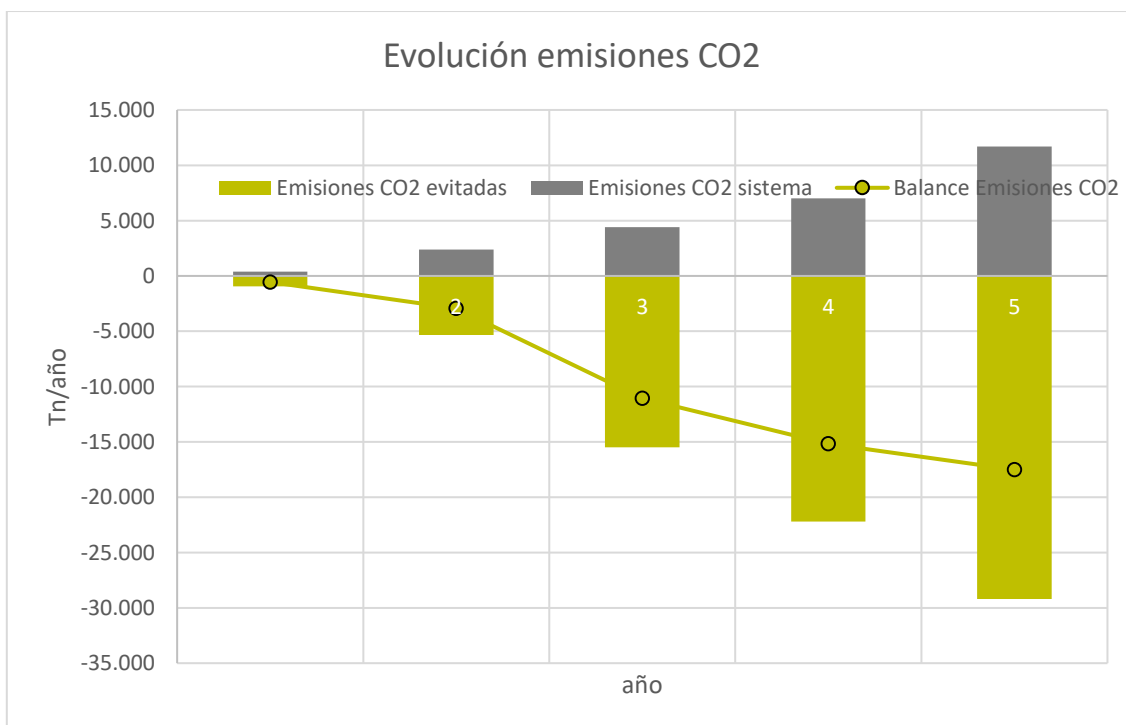


Ilustración 48. Evolución de las emisiones de CO₂ anuales evitadas por años



7.3. CARACTERIZACIÓN DETALLADA DE LA DEMANDA POR FASES

La demanda horaria de calefacción y ACS (agua caliente sanitaria) se determinó a partir del estudio de demanda energética y las simulaciones horarias de demanda realizadas por tipología de edificación, con lo cual se obtuvo un perfil de potencia horaria para cada fase de desarrollo, presentados a continuación, donde se tiene la potencia en función de las horas del año. Es importante notar que estos perfiles consideran las fases de desarrollo acumulando las fases anteriores.

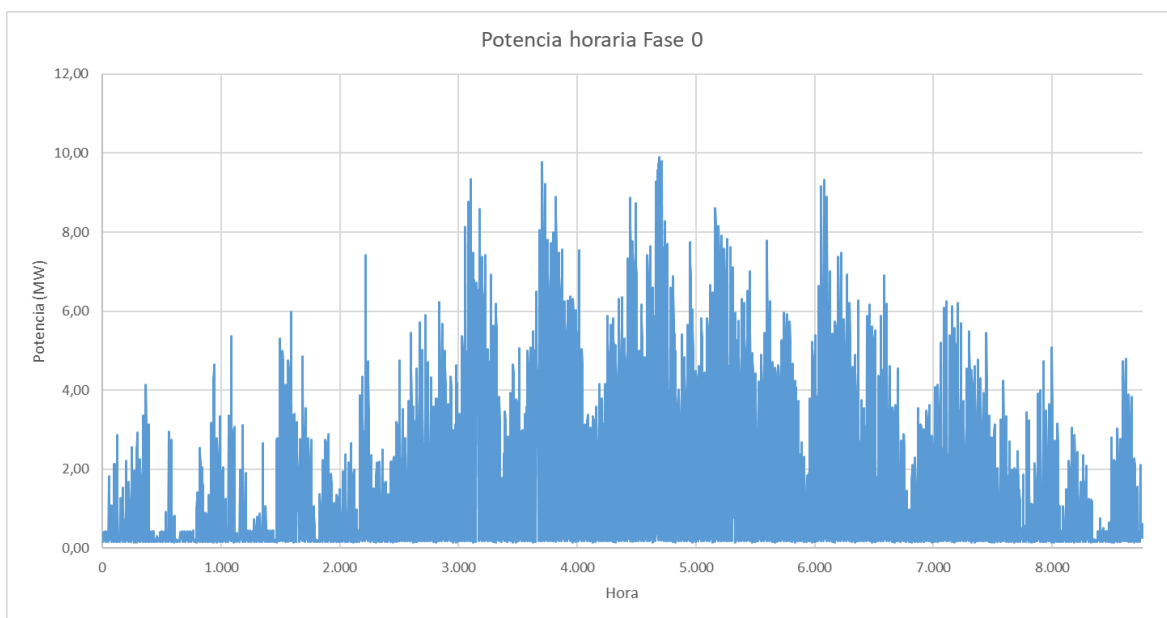


Ilustración 49. Potencia horaria de la Fase 0 de desarrollo de Coyhaique en base a la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y las pérdidas térmicas. Fuente: Elaboración propia.

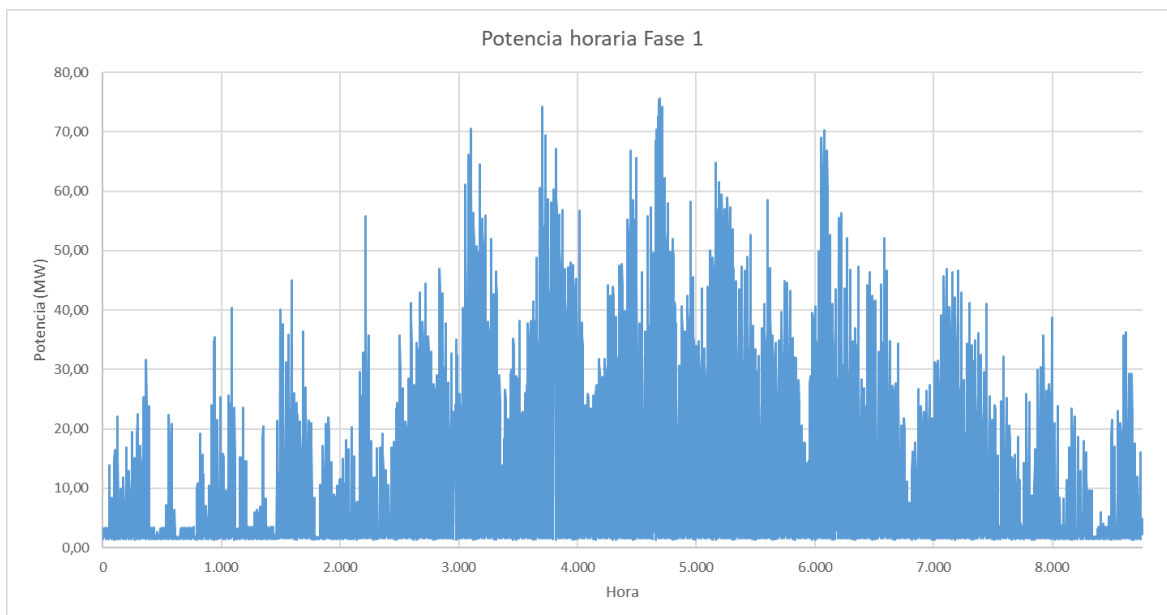


Ilustración 50. Potencia horaria de la Fase 1 de desarrollo de Coyhaique en base a la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y las pérdidas térmicas. Fuente: Elaboración propia.

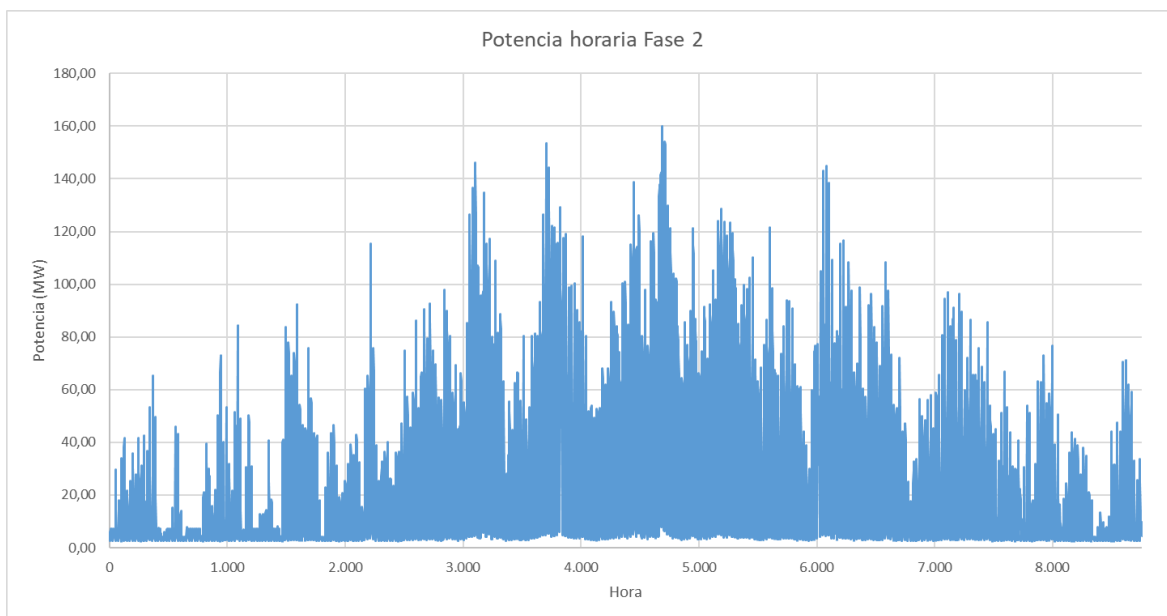


Ilustración 51. Potencia horaria de la Fase 2 de desarrollo de Coyhaique en base a la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y las pérdidas térmicas. Fuente: Elaboración propia.

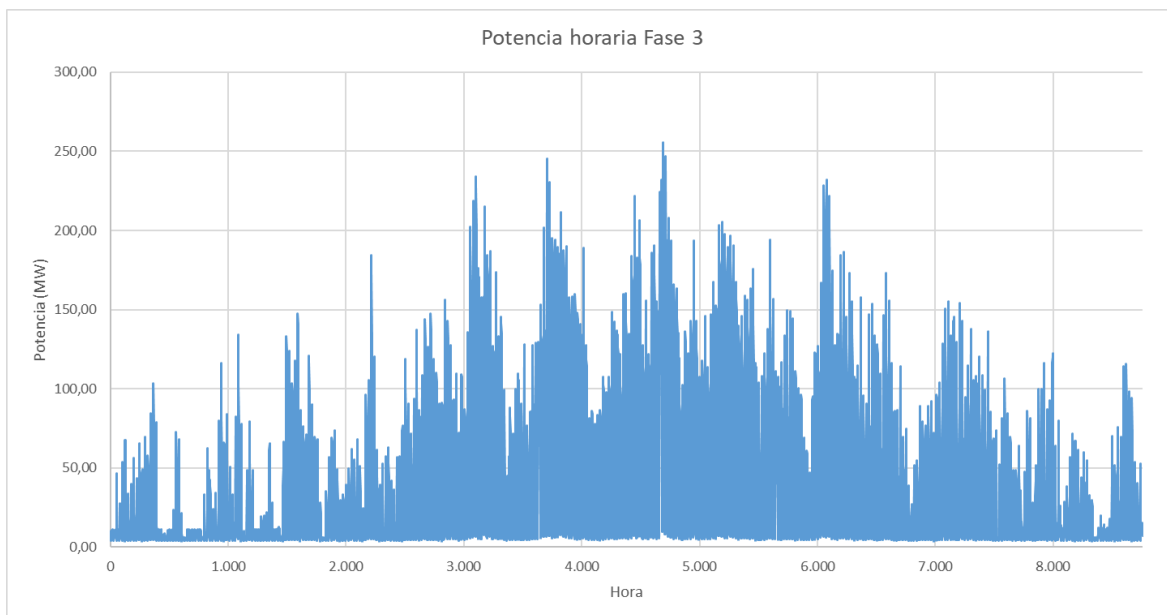


Ilustración 52. Potencia horaria de la Fase 3 de desarrollo de Coyhaique en base a la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y las pérdidas térmicas. Fuente: Elaboración propia.

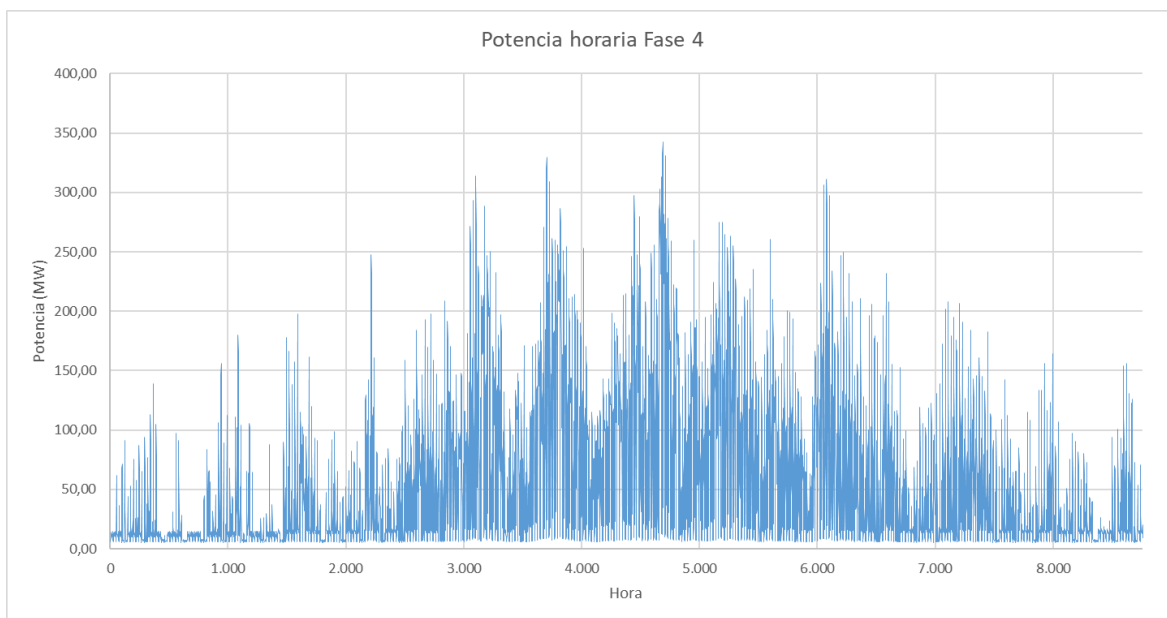


Ilustración 53. Potencia horaria de la Fase 4 de desarrollo de Coyhaique en base a la demanda de calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y las pérdidas térmicas. Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 53 se puede observar un peak de demanda cercano a los 350 kW. Por otro lado, en la Ilustración 54 a continuación, se pueden observar las distintas monótonas de demanda por fases.

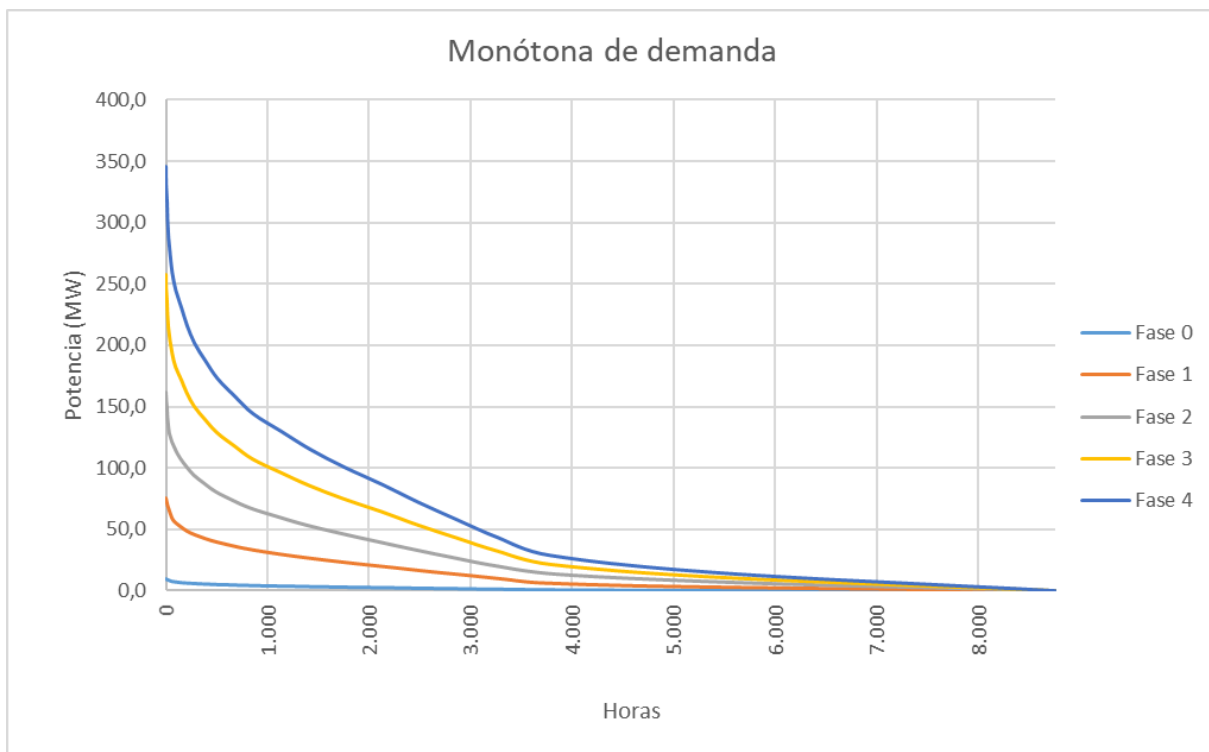


Ilustración 54. Monótona de demanda de Coyhaique en base a la potencia y la hora bajo potencia. Fuente: Elaboración propia.

Analizando el resultado por fases que se encuentra en la Ilustración 49 a la Ilustración 53, se observa que, al agregar las viviendas correspondientes a una fase a la anterior, la potencia suma alrededor de 70 kW, de forma casi equitativa. Esto indica que las fases determinadas se encuentran relativamente similares en potencia y por lo tanto su crecimiento se produce de forma gradual hasta cubrir la zona urbana.

A continuación, se presenta un resumen de la extensión de cada fase y la superficie involucrada.

Tabla 18 Resumen de extensión de fases en estudio y la superficie involucrada

Fase	Habitantes ⁹	Superficie (m ²)	Extensión Red (m)
0	1.396	1.000	2.987,6
1	21.660	7.400	20.952
2	30.804	15.000	19.894,6
3	58.380	24.000	24.572,3
4	79.032	32.500	18.783

⁹ El número de habitantes se obtuvo considerando que las viviendas se encuentran ocupadas por 4 personas



7.4. UBICACIONES DE LAS CENTRALES

A pesar de que el Plan Regulador no prohíbe ni permite expresamente la instalación de centrales de energía y que se ha recomendado a la municipalidad que opte por una modificación puntual a través de una adenda para facilitar la instalación de las centrales, existe una problemática real con la disponibilidad de espacios dentro del entramado urbano.

Esta limitación ha llevado a trabajar incluso en distintas opciones tecnológicas de transporte de energía, pero éstas se han demostrado poco rentables por el momento, lo que no deja otra alternativa que buscar espacios para ubicar las centrales dentro de la ciudad.

Se ha hecho un proceso de identificación de espacios baldíos y una búsqueda de usos y titularidades de los mismos, reflejados en la ilustración siguiente.

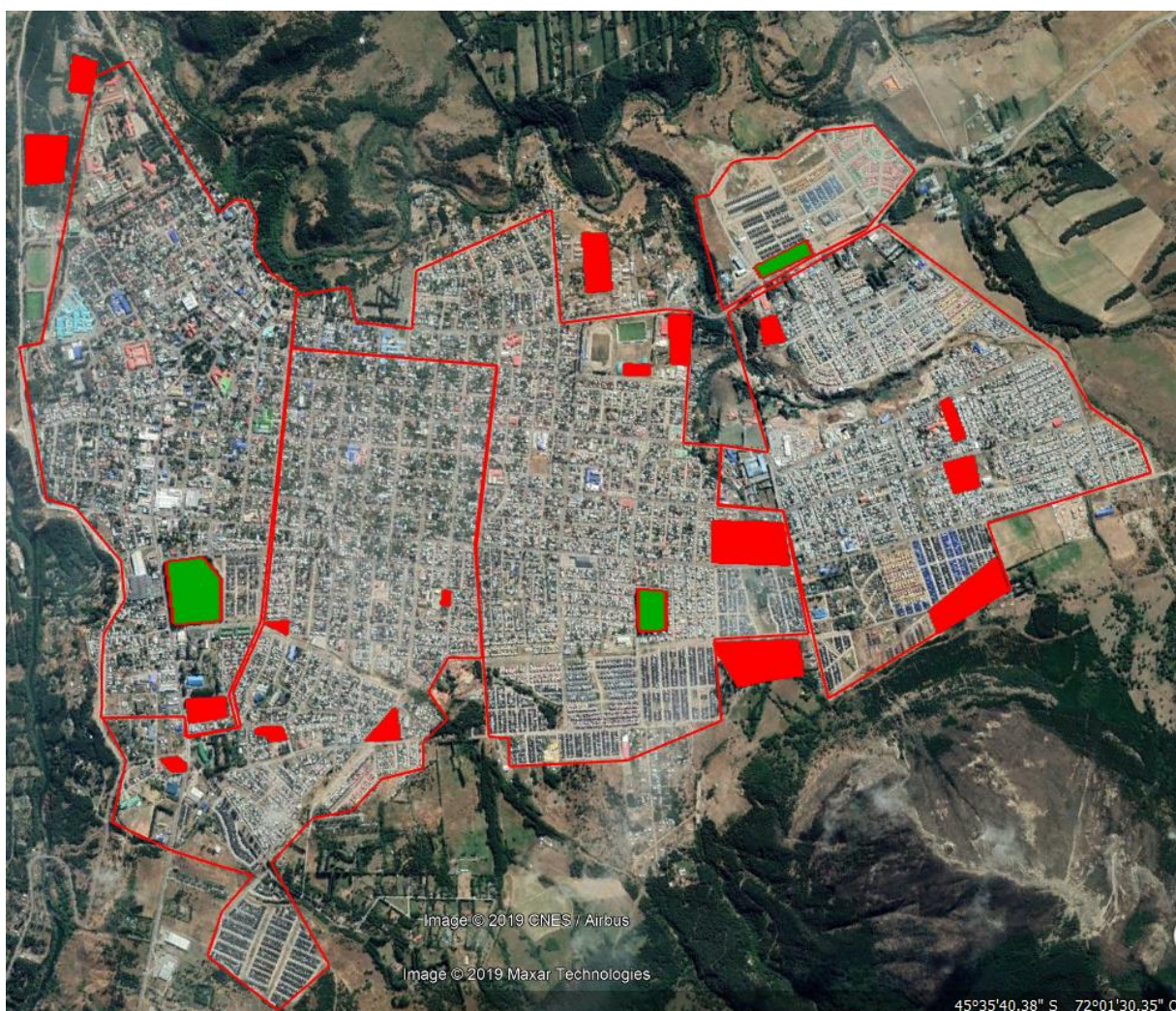


Ilustración 55. Potenciales ubicaciones de las Centrales Térmicas



De entre todos ellos se han seleccionado tres que deben ser validados, pero que disponen de alternativas cercanas que no haría variar substancialmente el proyecto. Dos de ellos son zonas verdes, en las que se propone instalar las centrales de forma subterránea con baja ocupación del espacio público, pero con buena presencia, a modo de elemento de toma de consciencia colectiva. El tercero es un terreno privado, propiedad del Vicariato Apostólico de Aysén, el cual podría estar dispuesto a encontrar una fórmula de uso del suelo, dado su estado actual y aparente falta de proyecto de transformación.

La imposibilidad de usar terrenos privados por cuestiones de regulación de usos del suelo y la decisión de optar por usar subsuelo público en zonas verdes, conlleva la eliminación de costos asociados a la compra o arriendo de suelos para las centrales térmicas, por lo que no se ha contemplado este costo en los análisis financieros.

7.5. DISEÑO DE LA RED

A partir del mapa de demandas, se definieron las zonas a estudiar en la ciudad de Coyhaique, las cuales se dividieron en 5 fases (numeradas del 0 hasta el 4) y que abarcan distintas zonas de la localidad.

En cada una de las imágenes las líneas rojas delimitan la fase a estudiar, las líneas naranjas corresponden a las matrices de la red de calor distrital, las líneas verdes corresponden a las cañerías secundarias de la red y los recuadros rojos corresponden a las centrales térmicas de cada fase.

Todas las fases fueron simuladas con las ramificaciones de cada tubería hasta su punto de destino, pero no son mostradas en las figuras para facilitar su visualización.



Ilustración 56. Mapa de manzanas definidas para el diseño de la fase 0 de la red distrital en Coyhaique

Para la fase 1 se establece utilizar la misma central térmica de la fase 0, tal como se puede apreciar en la Ilustración 57.

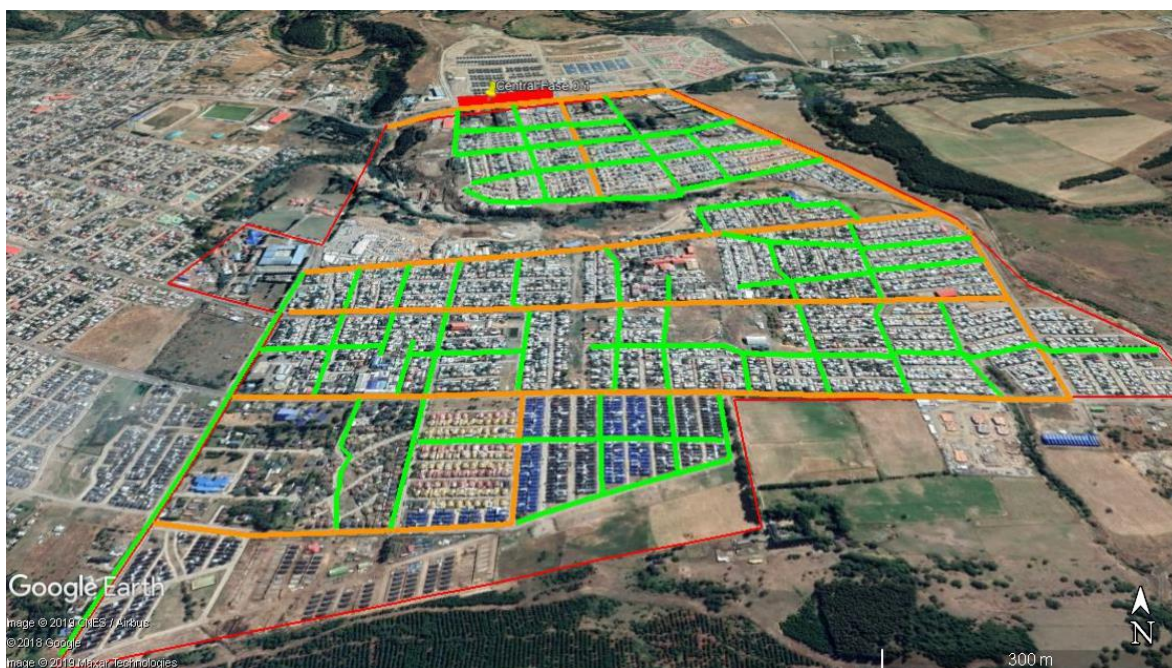


Ilustración 57. Mapa de manzanas definidas para el diseño de la fase 1 de la red distrital en Coyhaique



Ilustración 58. Mapa de manzanas definidas para el diseño de la fase 2 de la red distrital en Coyhaique



Ilustración 59. Mapa de manzanas definidas para el diseño de la fase 3 de la red distrital en Coyhaique

Al igual como sucede en la fase 0 y 1, el crecimiento de la fase 4 dependerá de la misma central térmica de la fase 3 (ver Ilustración 60).

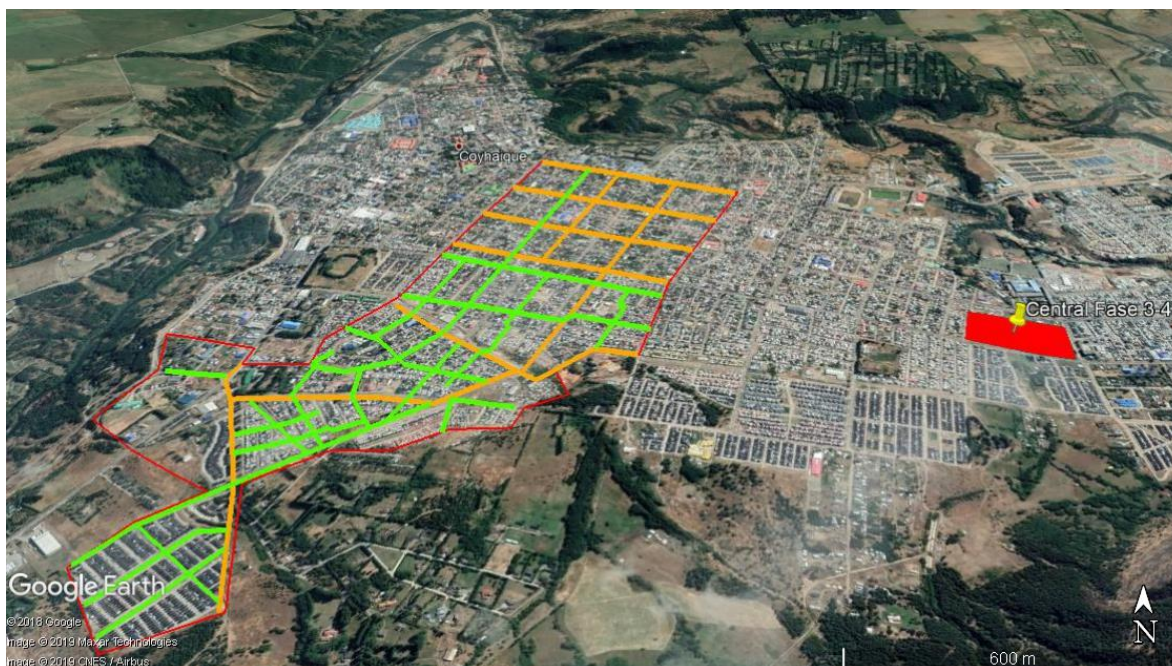


Ilustración 60. Mapa de manzanas definidas para el diseño de la fase 4 de la red distrital en Coyhaique

En la se presente un resumen de la extensión de la red en cada fase que fue presentada en las ilustraciones anteriores.

Tabla 19. Resumen extensión de red en cada fase

Fase	0	1	2	3	4
Extensión línea primaria (m)	1.133	7.235	4.187	11.987	8.343
Extensión línea secundaria (m)	1.854,6	13.717	15.707,6	12.585,3	10.440
Extensión total (m)	2.987,6	20.952	19.894,6	24.572,3	18.783

7.6. ANÁLISIS ALTERNATIVAS DE GENERACIÓN

7.6.1. PLANTEAMIENTO GENERAL SOBRE FUENTES Y TECNOLOGÍAS

Tal como se puede observar en el gráfico de precios de la energía, la biomasa presenta unos costos muy beneficiosos respecto al resto de fuentes. Además, ésta tiene un impacto en la economía local gracias a la posibilidad de ser producida en las cercanías de la ciudad, en base a una explotación



sustentable del bosque nativo, por lo que se considera que lo más adecuado es el uso de esta fuente como fuente primaria de generación. Partiendo de esta premisa, se plantean distintas alternativas que permitan generar calor útil de la forma más económica, limpia y respetuosa posible. Entran en la ecuación aparte de los aspectos financieros y ambientales, aspectos logísticos y de impacto en la ciudad como el lugar de tratamiento de la biomasa o el tránsito de camiones por la ciudad.

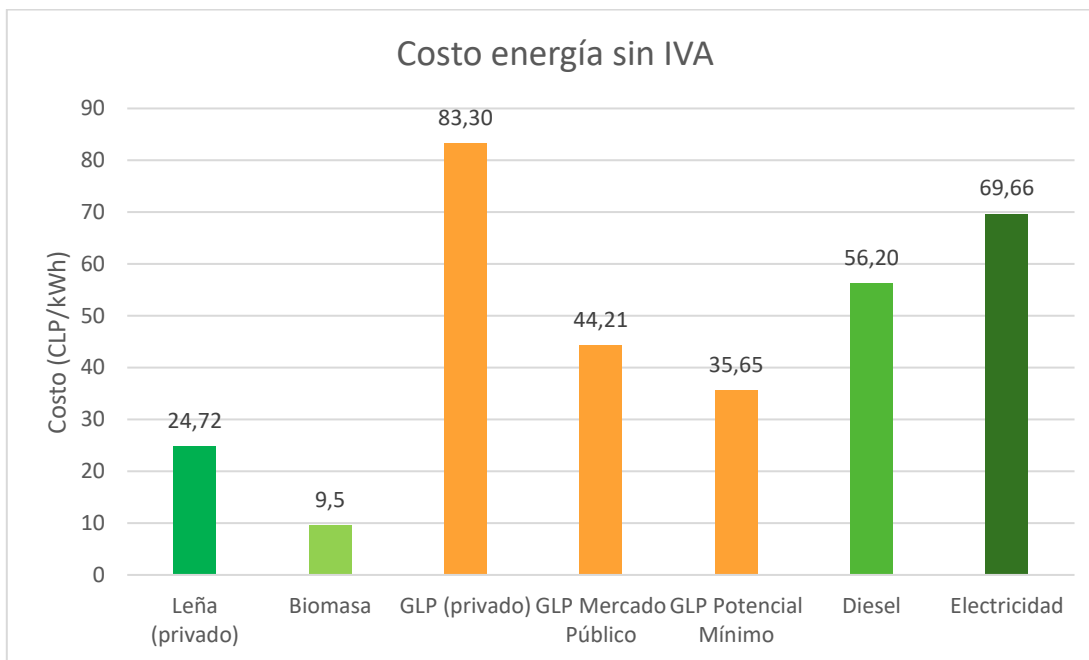


Ilustración 61. Costos energía en Coyhaique (Fuente: Elaboración propia en base a datos y suministradores)

La solución de la **biomasa térmica hibridada con gas natural**, que se representa en la ilustración siguiente, es la menos compleja tecnológicamente y la que presenta menos costos de inversión y mantenimiento, además de ser una tecnología de fácil manejo. Es, sin duda, la forma más sencilla de operar con biomasa. Se compone de calderas de astilla de madera, que pueden ser multicomcombustible para hacer el sistema más versátil, operando contra acumuladores de gran tamaño que permiten reducir al mínimo las puntas de potencia a suministrar por las calderas. El sistema debe incorporar un silo de acumulación de biomasa, con su sistema de alimentación automático de la caldera. Por otra parte, el sistema incorpora calderas de GLP, cuyo costo de inversión es muy inferior al de las calderas de biomasa, para operar sólo en los picos de demanda en los que las calderas de biomasa y los acumuladores, juntos, no logran suministrar toda la potencia requerida por el sistema. Como es de suponer, estas calderas operan muy pocas horas al año, dado el alto costo del combustible que usan. Éstas incorporan también, sistemas de acumulación de corto plazo para el ajuste de potencia. Este sistema presenta además la ventaja de la escalabilidad, pues se pueden instalar calderas desde las decenas de kWt.

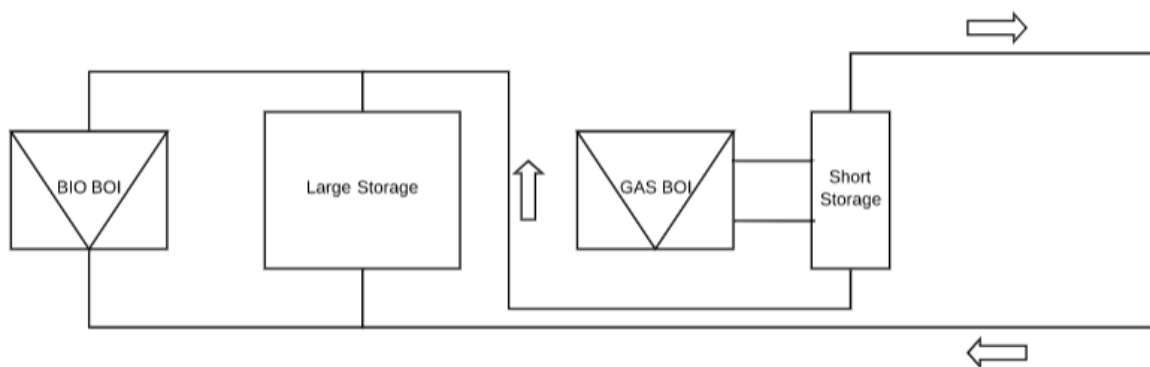


Ilustración 62. Calderas de biomasa con apoyo de caldera de gas natural o GLP

Cuando se plantea la posibilidad de ir más allá de la generación térmica directa con biomasa, hay que tomar en cuenta la posibilidad de cogenerar, utilizando la biomasa para producir calor y electricidad de forma simultánea. Esta solución, presenta la ventaja que permite cubrir consumos eléctricos propios o vender electricidad al sistema eléctrico o un cliente privado a través de un PPA, pero esta ventaja sólo se da cuando el costo del calor es menor que el de la electricidad o cuando la electricidad generada puede ser usada para producir calor de forma más competitiva que quemando directamente la biomasa en una caldera.

Existen distintas tecnologías que permiten cogenerar a partir de biomasa. A saber:

1. Generando vapor, que es inyectado en una turbina de contrapresión, de la que se hace una extracción a baja presión para uso térmico del vapor, a parte de su generación eléctrica propia.
2. Generando vapor, que es inyectado en una turbina para generación de electricidad, cuyo circuito de condensación cede calor al foco frío de una bomba de calor alimentada por la electricidad de la turbina para producir calor útil.
3. Produciendo gas de síntesis o biometano para su uso en motores alternativos o turbinas de gas, de los cuales se recupera calor útil, a parte de su generación eléctrica.
4. Produciendo calor de baja temperatura, entre 90°C y 150°C con calderas de agua presurizada, para la alimentación de una turbina de ciclo orgánico, que produce electricidad y de la cual se puede recuperar el calor residual para su uso directo en la red.

Los sistemas en base al uso de **turbinas de vapor**, entran dentro del ámbito de los grandes sistemas de generación, sin opciones para su aplicación rentable por debajo de los 10MWe. Más allá de sus costos de inversión y requerimientos de *expertise* para su operación y mantenimiento, estos sistemas deben asegurar la venta de electricidad para garantizar su rentabilidad y requieren de una ubicación singular, dado su tamaño e impacto asociado tanto al uso del suelo como al transporte y acopio de biomasa, al uso de agua de condensación y a las líneas eléctricas de salida.

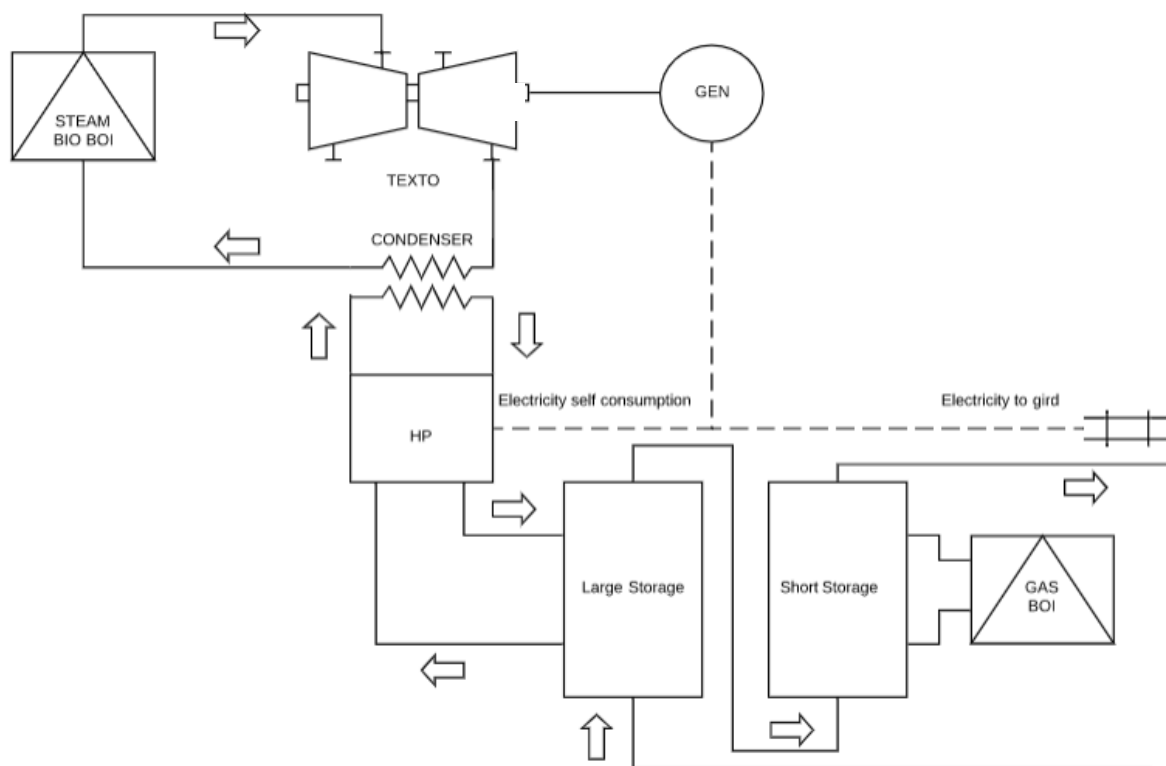


Ilustración 63. Cogeneración con turbina de vapor condensada por una bomba de calor alimentada por la cogeneración o en balance con la red

Cabe destacar que a día de hoy existen varios proyectos en la región de plantas de este tipo, pero sin recuperación de calor, esto es, sin cogeneración, pero están demasiado lejos de Coyhaique como para hacer rentable el aprovechamiento del calor.

Existe también una planta de generadores diésel a unos 6km de Coyhaique que podría incorporar recuperación de calor para alimentar el sistema, pero se desconocen sus características técnicas y operacionales como para poder analizar la viabilidad de su uso en modo cogeneración.

A pesar de ser una solución deseable para la alimentación del sistema distrital y del sistema eléctrico nacional, su complejidad de desarrollo desaconsejan proponerla como solución basal para este sistema, aunque se deberá valorar positivamente que cualquier proponente en la licitación comprometa la construcción de una planta de estas características.

La **cogeneración con gas de síntesis o biometano** (un gas limpio producido a través de un proceso de limpieza del primero) es una opción muy interesante, porque permite transportar el gas generado a



partir de biomasa, a cualquier punto de la ciudad con un costo mínimo, desde una planta que puede estar en el exterior de la ciudad. El problema que presenta son sus altos costos de implantación y O&M, así como su bajo rendimiento final, lo que hace que el gas sea caro y, por lo tanto, generar o cogenerar con él, también lo sea. A continuación, se presentan sendos análisis de caso para una planta de cogeneración de 17MWe y 69MWt de calderas¹⁰.

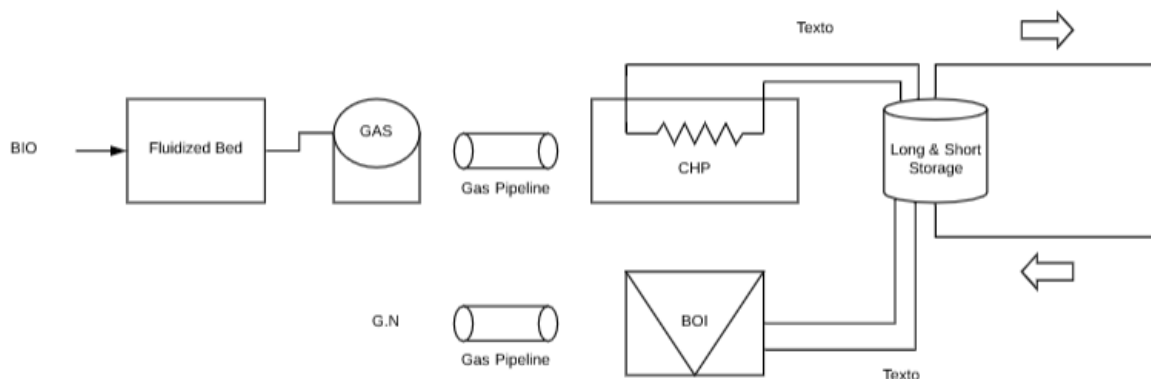


Ilustración 64. Cogeneración con motores o turbinas de gas alimentados con syngas o biometano producidos a partir de biomasa

Tabla 20. Análisis comparativo de generación de calor y electricidad mediante procesos de gasificación

Parámetros Inversión		Syngas		Biometano	
Planta de gasificación	MW	38		29	
Gaseoducto	m	2.000		2.000	
Calderas	MW	69		69	
Motores CHP 3,4MW	-	5		5	
Central generación	m2	2.151		2.151	
Inversiones		Syngas		Biometano	
Planta de gasificación	MMCLP	9.755	26%	10.452	
Gaseoducto	MMCLP	983	3%	187	
Calderas	MMCLP	1.542	4%	1.542	
Cogeneración	MMCLP	10.210	27%	10.210	
Central generación	MMCLP	593	2%	593	
Red	MMCLP	11.897	31%	11.897	
Conexiones e interiores	MMCLP	3.095	8%	3.095	
TOTAL Inversiones		38.074		37.975	
		56.322.577		56.176.423	
Parámetros Operación		Syngas		Biometano	

¹⁰ Análisis hecho para un proyecto similar en Temuco



Parámetros Inversión		Syngas		Biometano
Producción planta de gas	MWh/año	121.905		228.571
Producción eléctrica CHP	MWh/año	38.400		102.857
Potencia Calderas	MW	69		69
Compra de biomasa	MWh/año	174.150		384.154
Trasiego biometano	MWh/año	0		228.571
Compra gas natural	MWh/año	67.979		296.550
Compra electricidad	MWh/año	1.124		1.124
Gastos operacionales		Syngas		Biometano
O&M planta de gas	MMCLP/año	1.649	23%	2.356
O&M CHP	MMCLP/año	599	8%	802
O&M Caderas	MMCLP/año	134	2%	134
O&M Red	MMCLP/año	150	2%	150
Compra biomasa	MMCLP/año	1.654	23%	3.649
Peaje red de gas natural	MMCLP/año	0	0%	983
Compra gas natural	MMCLP/año	2.923	41%	2.923
Compra electricidad	MMCLP/año	101	1%	101
TOTAL O&M&E	MMCLP/año	7.211	100%	11.099
Parámetros ingresos		Syngas		Biometano
Venta electricidad	MWh/año	38.400		102.857
Venta calor casas	MWh/año	6.653		6.653
Venta calor edificios	MWh/año	5.700		5.700
Venta calor otros	MWh/año	88.595		88.595
Ingresos		Syngas		Biometano
Venta electricidad	MMCLP/año	1.920		5.143
Venta calor casas	MMCLP/año	352		352
Venta calor edificios	MMCLP/año	285		285
Venta calor otros	MMCLP/año	4.430		4.430
TOTAL Ingresos	MMCLP/año	6.987		10.210
Balance		-224		-889
Retorno		-170		-42
Costo gas		Syngas		Biometano
Inversión	MMCLP	10.738		10.639
O&M	MMCLP/año	1.649		2.356
Biomasa	MMCLP/año	1.654		3.649
Peaje	MMCLP/año	0		983
Producción gas	MWh	121.905		228.571



Parámetros Inversión	Syngas	Biometano
Costo gas	CLP/MWh	30.035
		33.676

Tal como se puede observar, los resultados no son hoy favorables desde un punto de vista de generación energía útil, pues no pueden competir con el uso térmico directo de la biomasa, pero es importante destacar que los precios del gas son comparables a los costos de GLP, por lo que se recomienda hacer un seguimiento de estas tecnologías y proyectos de desarrollo de las mismas para buscar su competitividad, que podría ser de gran utilidad para valorizar el recurso biomasa en la región.

Finalmente existe la posibilidad de **cogenerar usando una ORC**, una turbina de ciclo orgánico que puede alimentarse con temperaturas sobre los 130°C-150°C con rendimientos entre el 15% y el 18%. Se trata de una tecnología robusta, pero poco experimentada y con muy bajos rendimientos eléctricos, lo que la hace ideal para su uso con fuentes de calor residual, pero no tanto cuando hay que producir calor para alimentarla.

Más allá de las bondades y rendimientos de las distintas tecnologías, se ha llevado a cabo una comparación de su capacidad de rendimiento económico en las condiciones concretas de la red de calor distrital en Coyhaique, tomando los precios de venta del calor y de la electricidad correspondientes para visualizar el ingreso potencial correspondiente a una unidad de energía primaria de biomasa, a modo de descarte de soluciones tecnológicas. Los resultados y las variables de entrada se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 21. Comparativa de potencial de ingresos por soluciones tecnológicas

Costo Biomasa	9.498	CLP/MWh	
Venta Calor	58.555	CLP/MWh	
Venta electricidad	45.444	CLP/MWh	
	Rt	Re	Ingresos por unidad de biomasa consumida (CLP/MWh)
Caldera de Biomasa	90%	0%	52.700
Termoeléctrica con TV	0%	35%	15.906
Termoeléctrica con TV-CP	60%	30%	48.767
Termoeléctrica con TV y HP	59%	17%	41.935
Cogeneración con Singas	29%	22%	27.236
Cogeneración con Biometano	29%	27%	29.298
Caldera con ORC	45%	7%	29.622



Tal como se puede observar la solución convencional de generación de calor directa con biomasa es la que más ingresos puede generar debido al relativamente alto valor de venta del calor respecto al de la electricidad, cosa que podría cambiar en el caso que se lograra vender la electricidad a mayor precio a través de algún PPA o por cambios en las condiciones del sistema, dado que el precio de venta contemplado corresponde aproximadamente al precio de estabilizado para PMGD.

En base a lo anterior y dado que la solución de biomasa térmica es la que presenta un CAPEX menor, se opta por diseñar el sistema en base a esta solución como solución base.

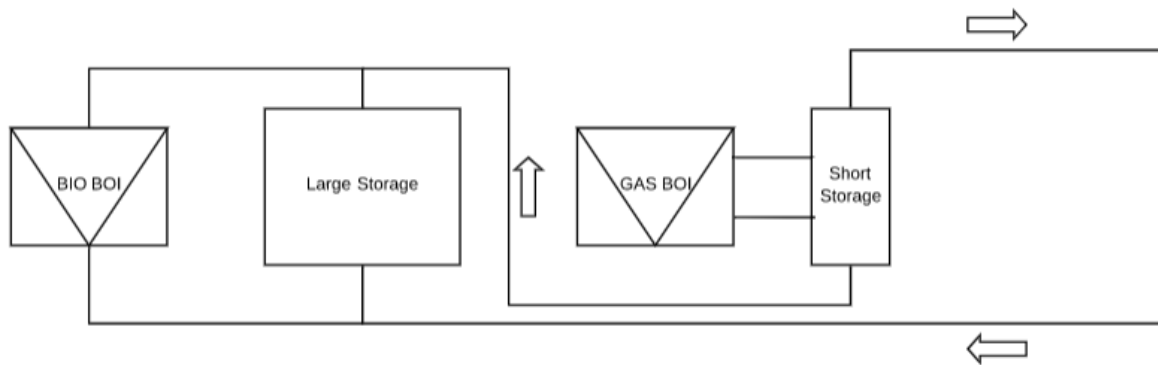


Ilustración 65. Calderas de biomasa con apoyo de caldera de gas natural o GLP

7.6.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL USO DE GSHP VS BIOMASA TÉRMICA

7.6.2.1. CARACTERIZACIÓN MATEMÁTICA DE LOS SISTEMAS

Los sistemas GSHP son altamente sensibles a las condiciones de operación tanto en lo que a las temperaturas de operación se refiere como a las horas de trabajo, pues son sistemas de muy alta inversión relativa y requieren obtener factores de utilización alta para conseguir su pronta amortización.

Estas singularidades aconsejan su diseño mediante el uso de modelos de simulación dinámica horaria, mas ello no sólo requiere del uso de modelos horarios si no de la generación de perfiles de demanda horarios para poder llevar a cabo dichas simulaciones.

Dado que el objetivo del presente trabajo no es el dimensionado detallado de un sistema, se ha optado por programar un modelo de cálculo que permitirá analizar los sistemas en base mensual y obtener los principales indicadores de forma aproximativa, concretamente los balances térmicos



globales, los distintos COP y especialmente el calor recuperado entre focos y/o cedido o extraído del suelo.

A parte de estos objetivos de carácter técnico que permiten observar el funcionamiento de los sistemas y sus potencialidades y especificidades, interesaba disponer de potencias y de balances energéticos para desarrollar el análisis de los indicadores financieros y ambientales que permitan evaluar la idoneidad de la tecnología.

Así pues, se han implementado modelos simplificados en base mensual tanto del sistema GSHP como de los sistemas de referencia o de apoyo, pues el análisis busca comparar el sistema GSHP, puro o hibridado según los casos, con un sistema de referencia basado en el uso de biomasa y GLP.

Hay que tomar consciencia que los modelos, por simplificados y sencillos que sean, a menudo son mucho más precisos que los datos de entrada, pues éstos son en general los que limitan la precisión de los cálculos. Para el caso que nos ocupa, por ejemplo, se ha trabajado con los perfiles de demanda sintéticos en base horaria, pero con temperaturas del suelo aproximadas a la temperatura ambiente promedio anual.

El sistema GSHP se ha caracterizado matemáticamente según el modelo descrito en GROUND-SOURCE HEAT PUMP PROJECT ANALYSIS [63]. Este algoritmo de cálculo tiene la particularidad de haber sido validado con medidas sobre instalaciones reales y nos permite aproximar el COP de los sistemas con buen nivel de fiabilidad.

Se ha considerado que la temperatura de retorno del intercambiador con el suelo es la temperatura media ambiente anual y que el campo de pozos es suficientemente espaciado para disipar/absorber todo el calor inyectado o extraído sin modificar su temperatura, dado que para ello se debería haber considerado unas condiciones específicas de conductividad del suelo. Aun así, dado que tanto la saturación del suelo como la posibilidad de recuperación inter estacional son aspectos de interés, se ha cuantificado la cantidad de calor balanceado con el suelo y el nivel de desequilibrio entre calor y frío, para así identificar las aplicaciones que presentan dichas amenazas y oportunidades.

La energía cedida al suelo y la potencia de la bomba de calor se relacionan según:

Para frío:

$$Q_c = Q_{he,c} \frac{COP_c}{COP_c + 1}$$

Para calor:



$$Q_h = Q_{he,h} \frac{COP_h}{COP_h - 1}$$

Dónde Q_c es la potencia de refrigeración de la bomba de calor en el evaporador, $Q_{he, c}$ es la energía inyectada al suelo a través del condensador y COP_c el rendimiento en modo refrigeración. Lo mismo para calor pero a la inversa.

El cálculo del COP se hace mediante la siguiente expresión polinómica como una función de la temperatura de entrada del fluido:

$$COP_{actual} = COP_{baseline} \left(k_0 + k_1 T_{ewt} + k_2 T_{ewt}^2 \right)$$

$$Q_{c/h} = \chi \left(\lambda_0 + \lambda_1 T_{ewt} + \lambda_2 T_{ewt}^2 \right)$$

Dónde COP_{actual} es el COP calculado de la bomba de calor para las condiciones y $COP_{baseline}$ es el COP nominal de la bomba de calor en condiciones estándar de ensayo (p.e. 21°C para calefacción y 25°C para refrigeración), $Q_{c/h}$ es la potencia de la bomba de calor, para calor o frío y k_i y λ_i son los coeficientes de correlación que aparecen en la tabla siguiente. Finalmente χ es un multiplicador de potencia para que el sistema cumpla con la demanda.

Tabla 22. Coeficientes de correlación para COP y Q

		Cooling	Heating
COP	ki0	1,53E+00	1,00E+00
	ki1	-2,30E-02	1,56E-02
	ki2	6,87E-05	-1,59E-04
Potencia	λi0	1,41E+00	6,68E-01
	λi1	-2,56E-03	2,80E-02
	λi2	-7,25E-05	-1,06E-04

7.6.2.2. CARACTERIZACIÓN DE COSTOS

A continuación, se entregan los valores de costos necesarios para realizar el análisis técnico económico de los casos de instalaciones analizadas, estos costos comprenden tanto los costos de



inversión de cada tipo de tecnología como los costos de mantenimiento asociados durante la vida útil de la misma.

Se entregan los valores asociados a bombas de calor geotérmicas y a los sistemas alternativos de generación de calor y frío como calderas y chillers.

Debido a que el análisis realizado es comparativo entre la geotermia y la biomasa, como caso de referencia, no se ha incluido en este capítulo los costos referidos las redes de servicio de calefacción, ACS y otros usos térmicos.

7.6.2.2.1. COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión están referenciados a curvas según potencia instalada. En la tabla siguiente se entregan los coeficientes necesarios para el cálculo de estos valores. Se remarca nuevamente que este sólo incluye el sistema de generación y no la distribución de servicio, común para todos los casos. La información aquí entregada está basada en la consulta de catálogos comerciales e información propia.

Tabla 23 Valores para el cálculo de costos asociados a la inversión Fuente: Elaboración propia

Costos Instalación según kW de sistema						
Descripción	Formato función	Unidad X	Resultado	A	B	C
Costo unitario según largo total, Perforación y sistema HX geotérmico <1000 m	$\text{Costo} = A \cdot X^b$	Longitud (m)	\$/m de perforación	739.707	-0,54	
Perforación y sistema HX geotérmico >1000 m	$\text{Costo} = A \cdot X$	Longitud (m)	\$/m de perforación	20.000		
Costo según kW potencia de sistema GSHP <500 kW	$\text{Costo} = (-B/(X+A)+C)$	Potencia (kW)	\$ total en millones	421	108.318	257
Costo según kW potencia de sistema GSHP >500kW	$\text{Costo} = A \cdot X$	Potencia (kW)	\$ total	130.000		

7.6.2.2.2. COSTOS DE MANTENIMIENTO

En la Tabla 24, se muestra los costos de mantenimiento para las bombas de calor geotérmicas y se asumió un mismo costo para los sistemas con calderas convencionales. La información aquí entregada se muestra en forma de funciones de costos basadas en información propia. Los costos de mantenimiento se indican en la forma de visitas a la instalación. Se asumen 1 visita de mantención anual para viviendas unifamiliares, 1 semestral para Jardines infantiles y visitas mensuales para el resto de operaciones analizadas.

Tabla 24 Costos de mantenimiento en función de la potencia (X) Fuente: elaboración propia

Operación & Mantenimiento por visita



	Función	A	B
GSHP < 70 kW	Costo=B	-	84.145
GSHP > 70 kW	Costo= AX+B	551	45.233
Caldera < 70 kW	Costo=B	-	55.000
Caldera > 70 kW	Costo= AX+B	308	33.420

7.6.2.3. SIMULACIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA

Se simuló un sistema hibridado de bomba de calor geotérmica con “boreholes” con calderas de GLP, según los modelos matemáticos antes descritos con una temperatura promedio anual del suelo de 10,8°C [6], para el cual se obtuvieron los resultados que se resumen en las tablas y gráficos siguientes.

	Demanda (kWh)	Aporte HP (kWh)	Aporte Caldera (kWh)	Consumo HP (kWhe)	Consumo pozos (kWhe)	Consumo GLP (kWh)	COP HP	COP SYS
Enero	10.690.676	10.690.676	0	3.425.110	929.345	0	3,12	2,46
Febrero	12.850.608	12.850.608	0	4.117.114	839.408	0	3,12	2,59
Marzo	19.356.072	19.356.072	0	6.201.354	929.345	0	3,12	2,71
Abril	31.776.966	31.776.966	0	10.180.795	899.366	0	3,12	2,87
Mayo	56.561.705	44.984.979	11.576.726	14.412.417	929.345	12.863.029	3,12	2,01
Junio	69.943.116	43.533.850	26.409.265	13.947.500	899.366	29.343.628	3,12	1,58
Julio	77.921.890	44.984.979	32.936.911	14.412.417	929.345	36.596.568	3,12	1,50
Agosto	63.819.121	44.984.979	18.834.142	14.412.417	929.345	20.926.825	3,12	1,76
Septiembre	46.805.273	43.533.850	3.271.423	13.947.500	899.366	3.634.914	3,12	2,53
Octubre	30.822.056	30.822.056	0	9.874.859	929.345	0	3,12	2,85
Noviembre	23.388.800	23.388.800	0	7.493.371	899.366	0	3,12	2,79
Diciembre	15.593.092	15.593.092	0	4.995.760	929.345	0	3,12	2,63
Anual	459.529.375	366.500.907	93.028.468	117.420.612	10.942.287	103.364.964	3,12	1,98

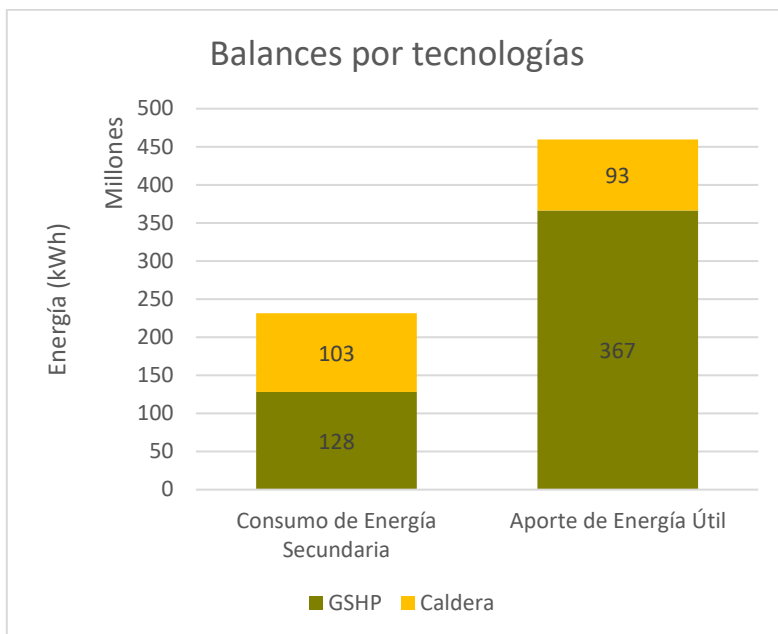


Ilustración 66. Balance energético del mix de tecnologías

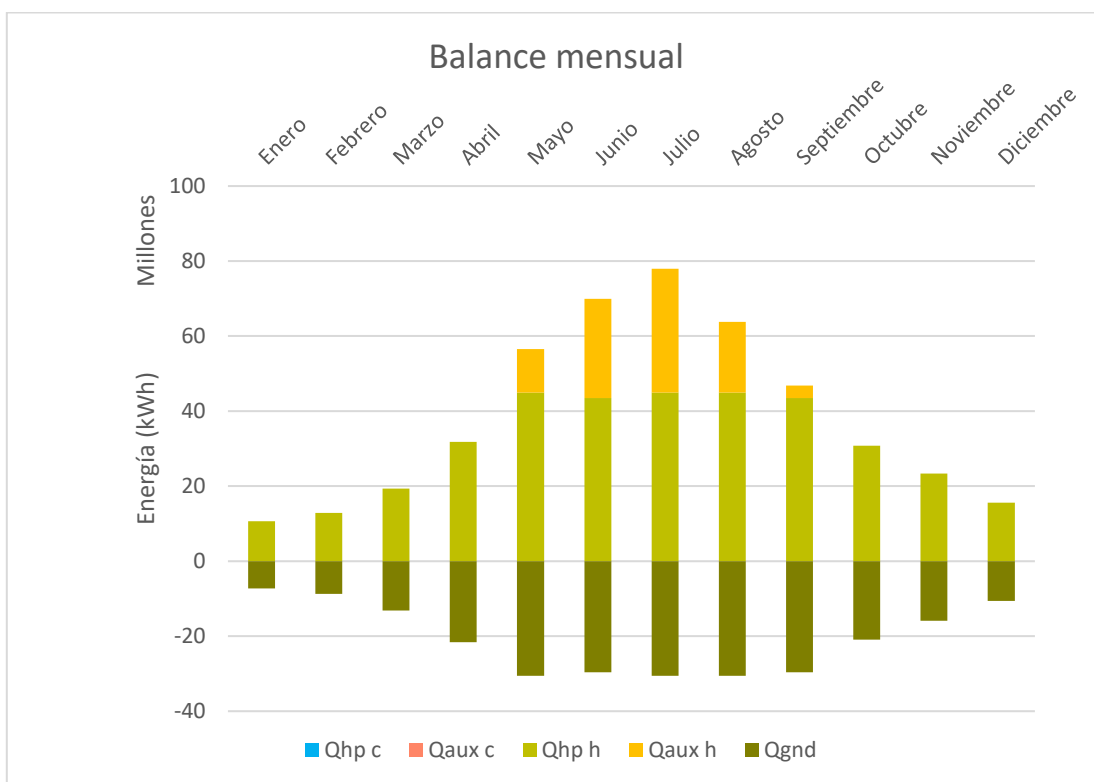


Ilustración 67. Balance energético mensual



7.6.2.4. COMPARATIVA ECONÓMICA

A continuación, se presenta la comparativa económica del sistema GSHP hibridado con un sistema de referencia de biomasa térmica. Tal como se puede observar, los costos de explotación del sistema GSHP son mayores que los del sistema de biomasa, lo que hace inviable recuperar la sobreinversión asociada.

Tabla 25. Análisis económico comparativo del GSHP vs biomasa térmica

caso referencia	inversión	Sistema enfriamiento	MMCLP	0,00
		Sistema de calentamiento	MMCLP	13.412
		Total Inversión	MMCLP	13.412
	consumo	Electricidad	kWh	0
		GLP	kWh	51.498.888
		Biomasa	kWh	450.158.505
		Fueloil	kWh	0
	costos	Costo Energía	MMCLP	6.111,28
		Costo Mantenimiento	MMCLP	370,50
		Total costo O&M	MMCLP	6.481,78
caso GSHP	inversión	Sistema GSHP	MMCLP	50.488
		Sistema enfriamiento	MMCLP	0
		Sistema de calentamiento	MMCLP	312
		Total Inversión	MMCLP	50.800
	consumo	Electricidad	kWh	234.715.776
		GLP	kWh	0
		Biomasa	kWh	0
		Fueloil	kWh	0
	costos	Costo Energía	MMCLP	17.610,49
		Costo Mantenimiento	MMCLP	1.202,15
		Total costo O&M	MMCLP	18.812,64
Balances	Aportación GSHP Frío			0%
	Aportación GSHP Calor			79%
	Sobrecosto Inversión			MMCLP 37.388
	Ahorro Anual			MMCLP -12.331
	Período de retorno			años NA



Tal como se puede observar, el problema para la rentabilidad del sistema GSHP es el costo de la electricidad. Por lo anterior se ha procedido a sensibilizar los costos de compra de energía del sistema con dicho costo de la electricidad, con el resultado que se puede observar a continuación.

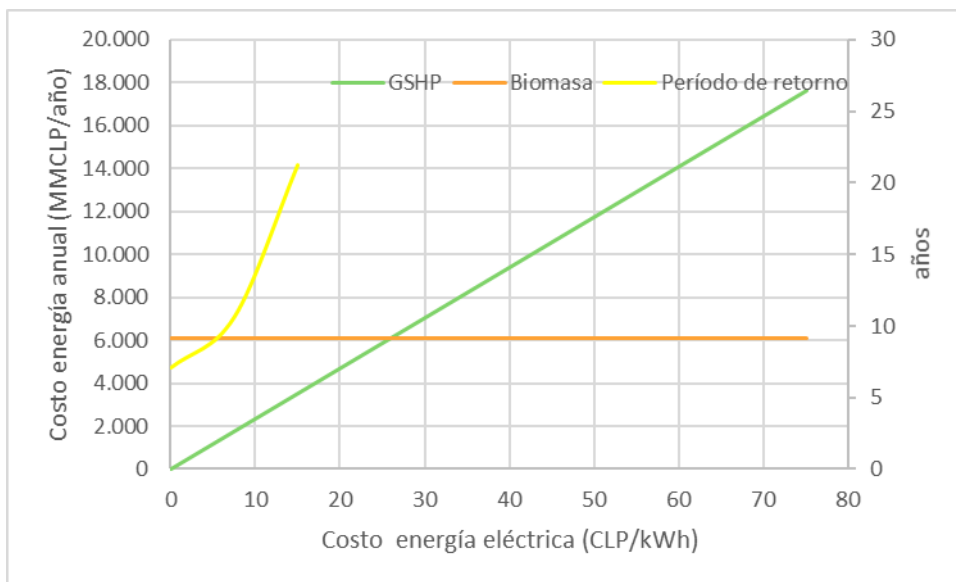


Ilustración 68. Sensibilización costos de energía para GSHP con el costo de la electricidad

De este análisis se desprende que sólo con costos de la electricidad por debajo de los 15CLP/kWh la GSHP podría generar ahorros que permitieran su amortización en un plazo inferior al ciclo de vida de la instalación, requiriéndose costos por debajo de este valor para que la tecnología pueda ser competitiva con la biomasa.

Por otra parte, cabe destacar que esta viabilidad económica, mejora sensiblemente con la temperatura del foco térmico, tal como se puede observar en la ilustración siguiente, para un foco térmico de 25°C, con el que se pueden obtener períodos de retorno de 20 años con costos de la electricidad sobre los 20CLP/kWh.

Hay que mencionar también como potencial uso de los sistemas de bomba de calor, su integración con sistemas de cogeneración usando calor residual de baja temperatura, como el calor de condensación de un sistema de turbina de vapor, para producir calor útil, tal como se describe en 7.6.1. Planteamiento General sobre Fuentes y Tecnologías.

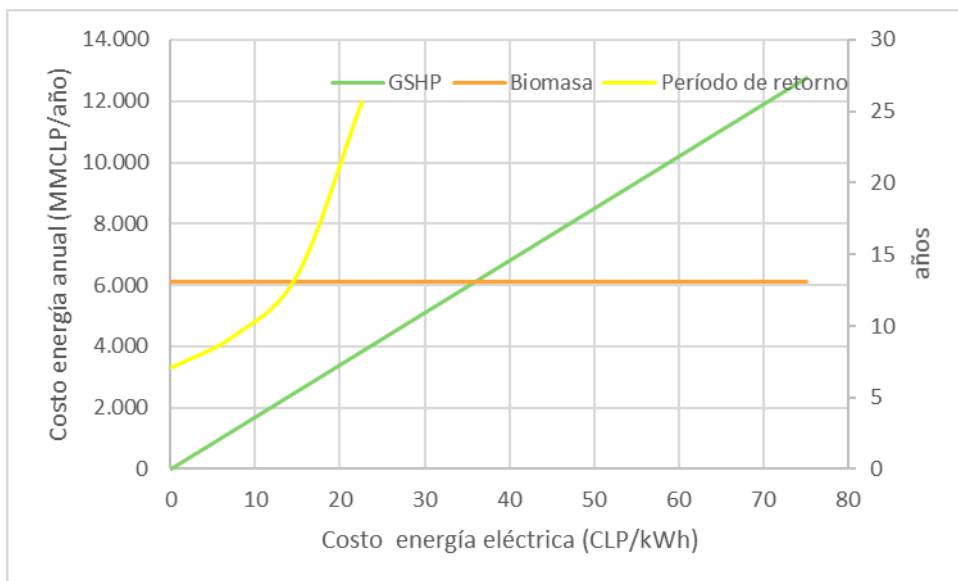


Ilustración 69. Sensibilización costos de energía para HP con calor residual a 25°C con el costo de la electricidad

7.7. DISEÑO SISTEMA DE GENERACIÓN

7.7.1. PARÁMETROS DEL SISTEMA

Tal como se ha comentado anteriormente, el sistema diseñado responde a un sistema híbrido de calderas de biomasa para cubrir la demanda base y calderas de gas para los picos de demanda, con un sistema de acumulación de gran volumen para reducir los picos de demanda acumulando calor de las calderas de biomasa, lo que permite incrementar mucho la fracción de biomasa en el mix final sin requerir grandes potencias de esta tecnología, mucho más costosa que la de gas.

Los parámetros de diseño del sistema por fases y las características principales de cada una de las centrales térmicas se detallan en las tablas a continuación:

Tabla 26. Parámetros de diseño por fases

		VALORES AGREGADOS POR FASES				
Fase		0	1	2	3	4
Demanda Total	MWh	13.647	105.151	215.016	345.328	462.559
Potencia BIO	MW	3,00	25,00	50,00	80,00	110,00
Rendimiento BIO		0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Potencia GLP	MW	4,00	24,00	50,00	80,00	105,00
Rendimiento GLP		0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Acumulación	MWh	5,5	42,1	86,0	138,1	185,0
Acumulación	m3	235	1.811	3.704	5.948	7.968



		VALORES AGREGADOS POR FASES				
Fase		0	1	2	3	4
Aporte BIO	MWh	11.940	95.014	193.471	309.707	417.133
Aporte BIO		87%	90%	90%	90%	90%
Consumo BIO	MWh	13.267	105.572	214.968	344.119	463.481
PCI Astilla	kWh/kg	3,95	3,95	3,95	3,95	3,95
Consumo BIO	Tn/a	3.359	26.727	54.422	87.119	117.337
Horas BIO		8.760	8.760	8.760	8.760	8.760
Horas equivalentes BIO		3.980	3.801	3.869	3.871	3.792
Aporte GLP	MWh	1.638	9.470	20.039	32.910	41.716
Consumo GLP	MWh	1.820	10.522	22.265	36.566	46.351
Horas GLP		822	665	688	704	674
Horas equivalentes GLP		410	395	401	411	397
Pérdidas Acumulación	MWh	14	360	579	806	1.004
Rendimiento Acumulación		99%	96%	97%	97%	97%
Cobertura demanda		99,4%	99,0%	99,0%	99,0%	99,0%
Emisiones PM10	Tn/año	0,06	0,45	0,92	1,50	1,97
Emisiones PM2,5	Tn/año	0,09	0,64	1,32	2,12	2,83
Emisiones CO2	Tn/año	413,48	2.390,12	5.057,78	8.306,37	10.529,09

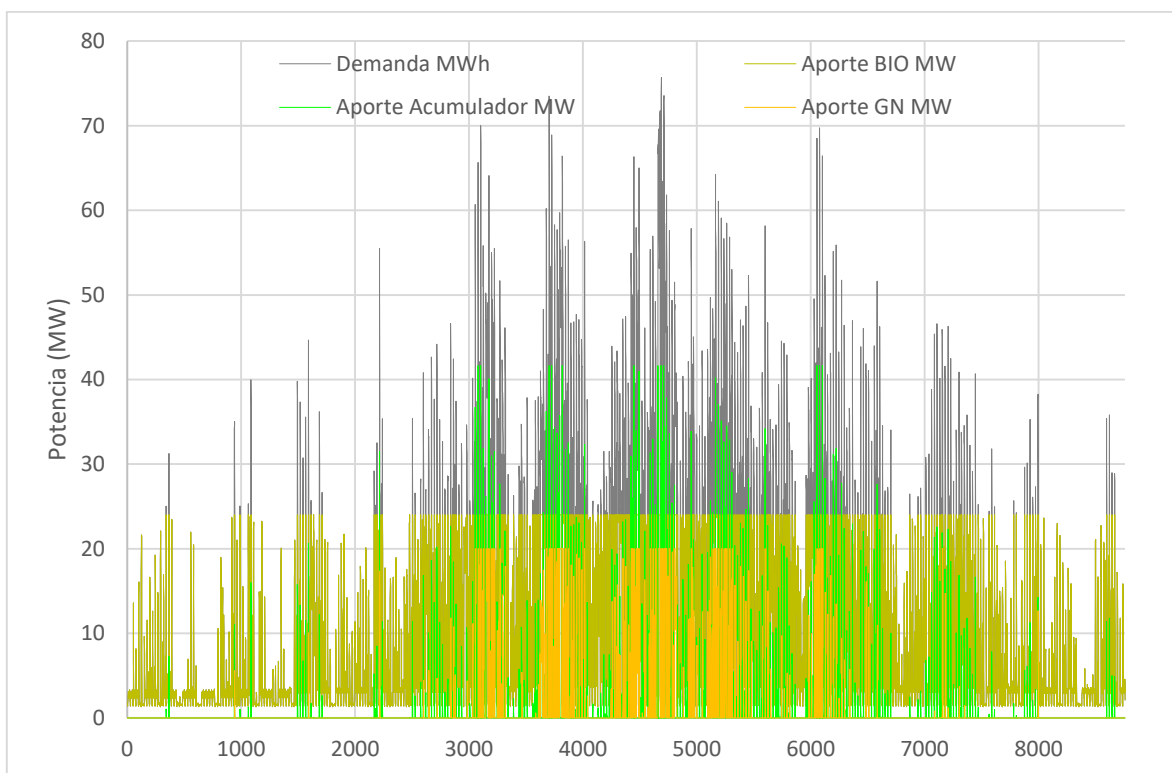


Ilustración 70. Ejemplo simulación horaria de demanda y aportes en Fase 1

Tabla 27. Parámetros generales por Centrales

		CENTRALES		
		F0 y F1	F2	F3 y F4
Potencia BIO	MW	25	25	60
Potencia GLP	MW	24	26	55
Acumulación	m3/a	1.811	1.892	4.264
Consumo BIO	Tn/a	26.727	27.695	62.915
Consumo GLP	MWh	10.522	11.743	24.086

7.7.2.RESULTADOS AMBIENTALES Y SOCIALES

A continuación, se presentan los principales indicadores ambientales asociados a los principales indicadores generales. La implementación del sistema permite lograr una reducción efectiva de prácticamente la totalidad de las emisiones de material particulado y un 64% de las de CO₂ correspondientes al parque edificatorio de la ciudad, con un retorno social acumulado durante los



30 años de concesión del sistema es de 695.369MMCLP¹¹ en valor presente, casi 21 veces lo aportado por el estado como subsidios según esta propuesta.

Finalmente, la demanda estructurada y garantizada de un mercado de biomasa de cerca de 110.000Tn anuales de biomasa, generará hasta 274 puestos de trabajo continuos solo en la explotación y procesamiento de la biomasa, a parte de aquellos asociados a la operación y mantenimiento del sistema térmico.

Tabla 28. Principales indicadores ambientales y sociales

Fase		0	1	2	3	4
Año		1	2	3	4	5
Número						
Casas dentro del ámbito		349	5.415	7.701	14.595	19.758
Casas Conectadas		314	4.874	6.931	13.136	17.782
Departamentos		0	0	240	266	312
Potencia Instalada	MW	7	49	100	160	215
Potencia Biomasa	MW	3	25	50	80	110
Potencia Gas	MW	4	24	50	80	105
Volumen de acumulación	m3	235	1.811	3.704	5.948	7.968
Superficie Centrales Térmicas	m2	1.000	7.400	15.000	24.000	32.500
Emisiones MP10 evitadas	Tn/año	-16	-218	-397	-681	-934
Emisiones MP2,5 evitadas	Tn/año	-15	-200	-365	-626	-859
Emisiones CO2 evitadas	Tn/año	-932	-5.344	-15.480	-22.191	-29.213
Emisiones MP10 sistema	Tn/año	0	0	1	1	2
Emisiones MP2,5 sistema	Tn/año	0	1	1	2	3
Emisiones CO2 sistema	Tn/año	413	2.390	5.058	8.306	10.529
Balance Emisiones MP10	Tn/año	-16	-217	-396	-679	-932
Balance Emisiones MP2,5	Tn/año	-14	-200	-364	-624	-856
Balance Emisiones CO2	Tn/año	-519	-2.954	-10.422	-13.884	-18.684
Reducción Emisiones MP10		99,9%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%
Reducción Emisiones MP2,5		99,8%	99,9%	99,9%	99,9%	99,9%

¹¹ Calculado en base a los indicadores de Ahorros contemplados en el AGIES del PDA [64]



Fase		0	1	2	3	4
Año		1	2	3	4	5
Reducción Emisiones CO2		56%	55%	67%	63%	64%
Consumo de biomasa	Tn/a	3.170	25.226	51.366	82.227	110.748
Puestos de trabajo biomasa		8	62	127	203	274
Beneficios sociales PDA	MMCLP/a	219	3.383	6.145	10.586	14.544
Beneficios sociales CO2	MMCLP/a	12	67	236	315	423

7.7.3.EVALUACIÓN DE COSTOS DE INVERSIÓN

A continuación, se presenta la evaluación de costos de inversión del sistema para cada una de sus fases, en valor real del dinero en cada año de ejecución.

Tabla 29. Estimación de costos por fases (no agregado) de implementación del sistema distrital

Inversión Total. Valores por Fase y Año (MMCLP)					
	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Adaptación instalaciones interiores de casas	394	5.892	2.743	8.539	6.599
Conexión de casas y edificios	439	3.853	2.875	5.712	4.588
Sub Total Conexiones e interiores	832	9.744	5.618	14.252	11.186
Obra Civil	188	1.380	1.256	2.092	1.476
Instalación tubería y accesorios	954	6.985	6.357	10.585	7.471
Sub Total Piping	1.142	8.366	7.613	12.677	8.948
Calderas de GLP	55	221	282	327	291
Calderas de biomasa y accesorios	479	2.841	3.280	3.974	4.101
Motores de cogeneración	0	0	0	0	0
Bombas de Calor	0	0	0	0	0
Acumulación	106	294	333	376	367
Sistema de recirculación	95	699	636	1.058	747
Edificio Central Térmica	276	1.821	2.231	2.727	2.658
Otros	101	587	676	846	816
Subtotal Generación	1.112	6.462	7.439	9.309	8.981



Inversión Total. Valores por Fase y Año (MMCLP)					
	Fase 0	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingeniería e indirectos	309	2.457	2.067	3.624	2.911
Imprevistos	309	2.457	2.067	3.624	2.911
Inversión Total	3.703	29.486	24.804	43.484	34.938

7.7.4. ANÁLISIS DE EXPLOTACIÓN

7.7.4.1. HIPÓTESIS DEL ANÁLISIS

El análisis financiero que se presenta a continuación incorpora 4 hipótesis importantes a destacar:

- Respecto a los flujos de caja para la determinación de la rentabilidad de los proyectos se hacen de forma pura con 100% de inversión propia, sin contemplar apalancamiento financiero.
- Respecto a los presupuestos de inversión de los proyectos, no se ha considerado de forma separada ni específica costos de estudios, ingeniería o utilidades, pues se han usado precios parciales finales de obra y se ha agregado un 20% de otros gastos como forma de cubrir imprevistos o desviaciones.
- Tampoco se han considerado costos de arriendo o adquisición de terrenos para las infraestructuras dado que se la única solución viable identificada ha sido usar el subsuelo de zonas verdes sin impacto en su uso
- Respecto a los costos de impuestos municipales por obras, se ha considerado que la municipalidad eximirá de los mismos a la empresa explotadora dado el cariz de infraestructura de uso público.

7.7.4.2. PARÁMETROS DE ANÁLISIS

Las tablas siguientes presentan las principales hipótesis de cálculo utilizadas para el análisis de explotación de los sistemas.

Tabla 30. Parámetros de análisis

Parámetro	Valor	Variable de referencia
Operación y Mantenimiento Red de Calor	1,0%	<i>Costo de inversión</i>
Mantenimiento BOI	1.950	<i>Potencia instalada en kWt</i>
Administración y Gestión	8,0%	<i>Del giro total</i>
Costo construcción sala de calderas	275.658	<i>CLP por m² edificado</i>



Parámetro	Valor	Variable de referencia
Costo sistema de bombeo	10,0%	<i>Del costo del piping sin obra civil</i>
Costo de GLP en Coyhaique	35.646	<i>CLP por MWh</i>
Costo fijo electricidad BT4.3	1.575	<i>CLP por KW</i>
Costo variable electricidad BT4.3	89.499	<i>CLP por MWh</i>
Costo Calderas. Termino A de ajuste logarítmico	-1.914	<i>Costo Unitario por kWt=A*ln(P)+B</i>
Costo Calderas. Termino B de ajuste logarítmico	29.655	<i>Costo Unitario por kWt=A*ln(P)+B</i>
Costo de adecuación interior por casa (no incluye armario)	1.252.112	<i>Por vivienda tipo casa</i>
Costo armario de conexión	781.326	<i>Por vivienda tipo casa</i>
Costo biomasa	9.498	<i>CLP/MWh</i>
Costo Acumulación. Termino A de $y = Ax^A - B$	6,185	<i>MMCLP/m³</i>
Costo Acumulación. Termino B de $y = Ax^A - B$	-0,48	<i>MMCLP/m³</i>
Consumo electricidad para bombeo	1,0%	<i>De la energía entregada transportada</i>
Superficie sala de calderas	0,1	<i>m² por kWt de calderas de gas natural</i>
Superficie resto de servicios	30,0%	<i>Sobre superficie de sala de calderas</i>
Rendimiento Estacional Calderas	90,0%	
PCI Chip madera	3,95	<i>kWh/kg</i>
Pérdidas horarias acumulador	0,10%	
Venta electricidad a red	65,2	<i>USD/MWh</i>
Valorización beneficios sociales	3.515.609	<i>CLP/Tn MP evitada</i>
Valorización beneficios sociales	32,5	<i>USD/Tn CO2 evitada</i>
Costo calderas biomasa Termino A de $y = Ax^A - B$	184,9	<i>€/kW - X, potencia, en MW</i>
Costo calderas biomasa Termino B de $y = Ax^A - B$	-0,131	<i>€/kW - X, potencia, en MW</i>
Explotación Biomasa en Coyhaique (parámetros para producción de 50.000Tn)		
Producción nominal de referencia	50.000	<i>Tn/año</i>
Inversión nominal de referencia	1.603	<i>MMCLP</i>
Puestos de trabajo nominales de referencia	123,5	-

A continuación, se presentan los parámetros de análisis financiero utilizados en los análisis, asumidos por el equipo consultor como parámetros de referencia estándar en este tipo de análisis en base a conversaciones con distintos actores, contrapartes y ESCOS.

Tabla 31. Parámetros financieros (julio 2019)

Variable	Unidad	Valor
Precio Euro	CLP	780
Precio Dólar	CLP	697
Inflación	%	3,2%



Incremente Precio Energía	%	3,2%
Tasa de Descuento Privada	%	12%
Tasa de Descuento Social	%	6%
Incremente Precio Electricidad	%	3,11%
Incremente Precio GLP	%	5,5%
Período de Análisis	<i>años</i>	30
Incremente Precio Biomasa	%	3%

7.7.4.3. DEFINICIÓN DE TARIFAS

Las tarifas de venta de calor se han definido con la premisa de respetar los costos energéticos actuales, especialmente de los clientes familiares. Para ello se ha evaluado el costo real actual de la energía que pagan los ciudadanos incluyendo la compra de leña, kerosen, petróleo o GLP para calefacción y ACS, para cada una de las tipologías edificatorias, incorporando también un costo mínimo de limpieza de caños anual. Con todo ello se ha calculado un precio promedio de la energía térmica para cada tipología y en conjunto para la ciudad.

Por otro lado, para los edificios de cualquier tipo, se ha propuesto una tarifa muy favorable calculada como el 150% del costo de la mejor oferta mayorista de GLP para la central térmica del sistema distrital, que es el precio al que el sistema comprará el GLP al suministrador. El precio resultante es menor que el que están pagando actualmente.



Tabla 32. Análisis de factura energética actual

Tipología	Demanda CC (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Demanda Total (kWh)	Consumo Leña Simulado (m3 st/a)	Consumo GLP Simulado (CLP/a) (con IVA)	Limpieza caño (CLP/año)	SUMA TOTAL (CLP/año)	Costo Energía (CLP/kWh con IVA) ¹²	
UNI-T-AO	23.612	2.132	25.744	29,98	291.750	50.000	1.480.883	57,52	
UNI-T-AT	19.579	2.132	21.711	19,30	291.750	50.000	1.075.176	49,52	
UNI-T-AMT	16.295	2.132	18.427	15,15	291.750	50.000	917.283	49,78	
UNI-A-AO	22.893	2.132	25.025	21,28	291.750	50.000	1.150.307	45,97	
UNI-A-AT	18.966	2.132	21.098	17,63	291.750	50.000	1.011.619	47,95	
UNI-A-AMT	15.654	2.132	17.786	14,55	291.750	50.000	894.622	50,30	
UNI-T-AL	19.719	2.132	21.851	18,33	291.750	50.000	1.038.194	47,51	
UNI-A-AL	17.702	2.132	19.834	16,45	291.750	50.000	966.956	48,75	
Tipología	Demanda CC (kWh)	Demanda ACS (kWh)	Demand a Total (kWh)		Consumo GLP Simulado (\$/a) (con IVA)		SUMA TOTAL (\$/año)	Costo Energía (\$/kWh con IVA)	
DEPTO	8.239	2.132	10.371	NA	494.684	739.853	NA	739.853	71,34

A efecto del análisis se ha considerado una estructura de facturación 100% variable sin término fijo ni costo de conexión lo que facilita el análisis de explotación. No obstante, hay que definir una propuesta estructurada de cara a licitación.

Partiendo de las tarifas objetivo anteriores, se ha determinado que la viabilidad del proyecto, que este tenga una TIR de proyecto del 12% pasa por incrementar las tarifas de referencia un 21%, esto es, aplicar las tarifas que se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 33. Propuesta de tarifas

Descripción	Costo Potencia (CLP/año)	Costo energía sin IVA (CLP/kWh)	Costo energía con IVA (CLP/kWh)
Tarifa doméstica para casas	0	54,31	64,62
Tarifa doméstica para departamentos	0	54,31	64,62
Tarifa gran consumidor	0	72,44	88,58

¹² La escala de colores indica el nivel de costo, desde verde hasta rojo



7.7.4.4. ESTRUCTURA DE INGRESOS Y COSTOS

Se presentan a continuación las distribuciones de ingresos y de costos actualizados a valor presente para el conjunto de la operación en sus 30 años de explotación analizados.

Tabla 34. Distribución de ingresos

Capítulo	Valor (MMCLP)
Venta de calor a casas	389.608
Venta de calor a departamentos	15.101
Venta de calor a singulares	93.913

Tabla 35. Distribución OPEX

Capítulo	Valor (MMCLP)
Biomasa	211.018,8
GLP	115.381,4
Electricidad	15.901,4
Mantenimiento Red de Calor	63.432,5
Mantenimiento Generación de Calor	19.508,6
Administración y Gestión	79.779,7

Tabla 36. Distribución CAPEX

Capítulo	Valor (MMCLP)
Red de distribución de Calor	38.745
Sistema Generación de Calor	33.302
Conexión de clientes de calor	41.633
Otros	22.736

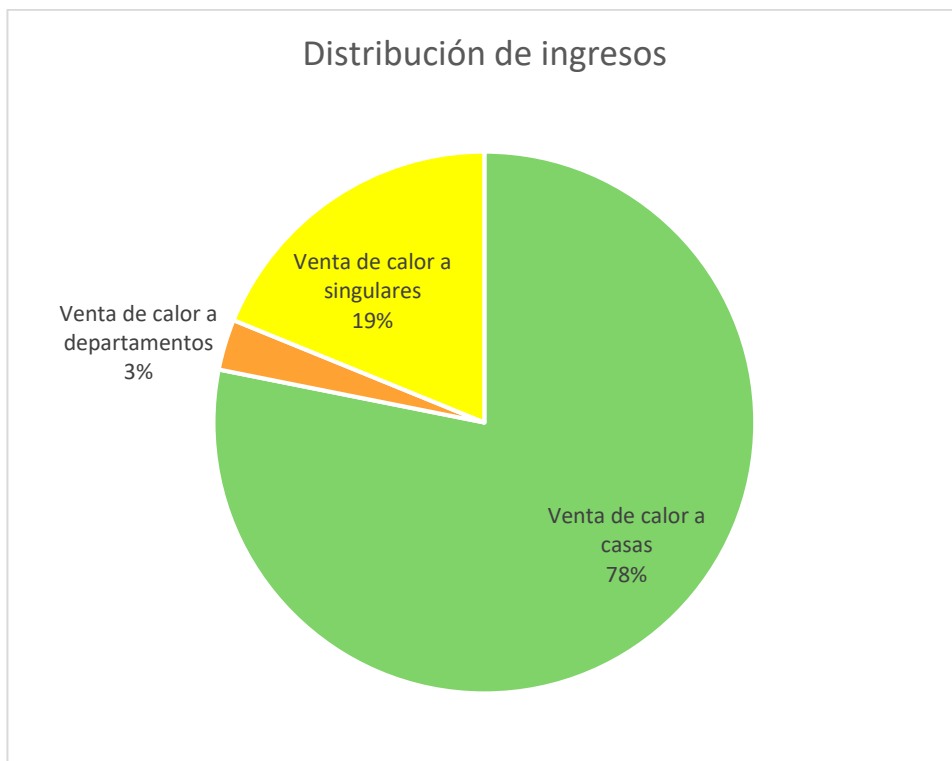


Ilustración 71. Distribución de ingresos en valor presente

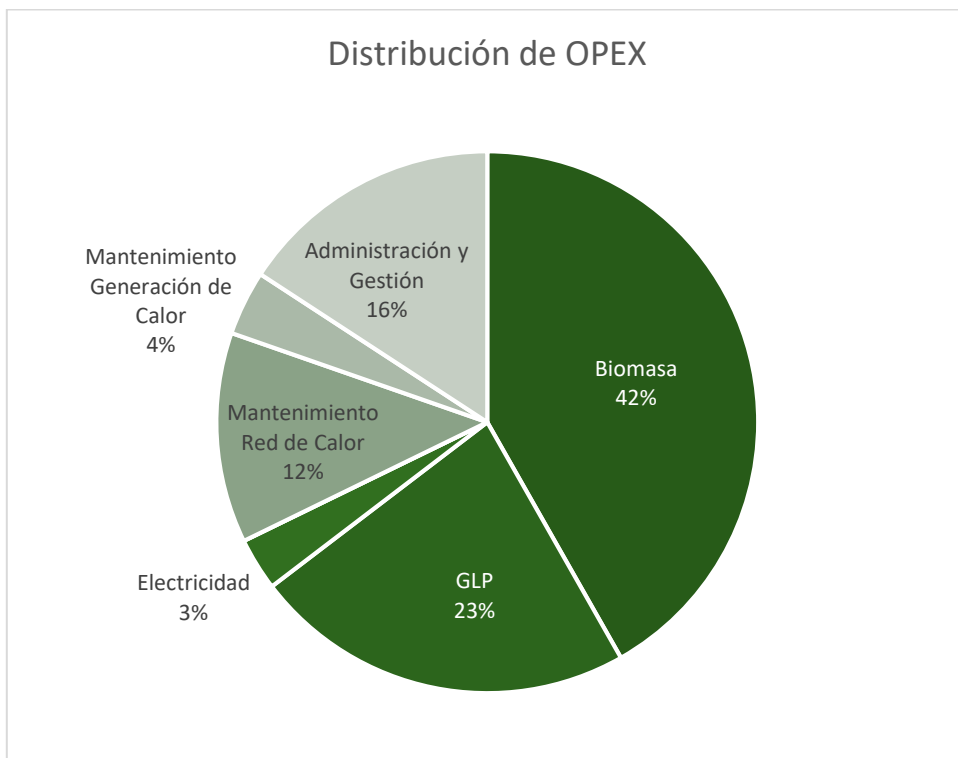


Ilustración 72. Distribución de OPEX en valor presente

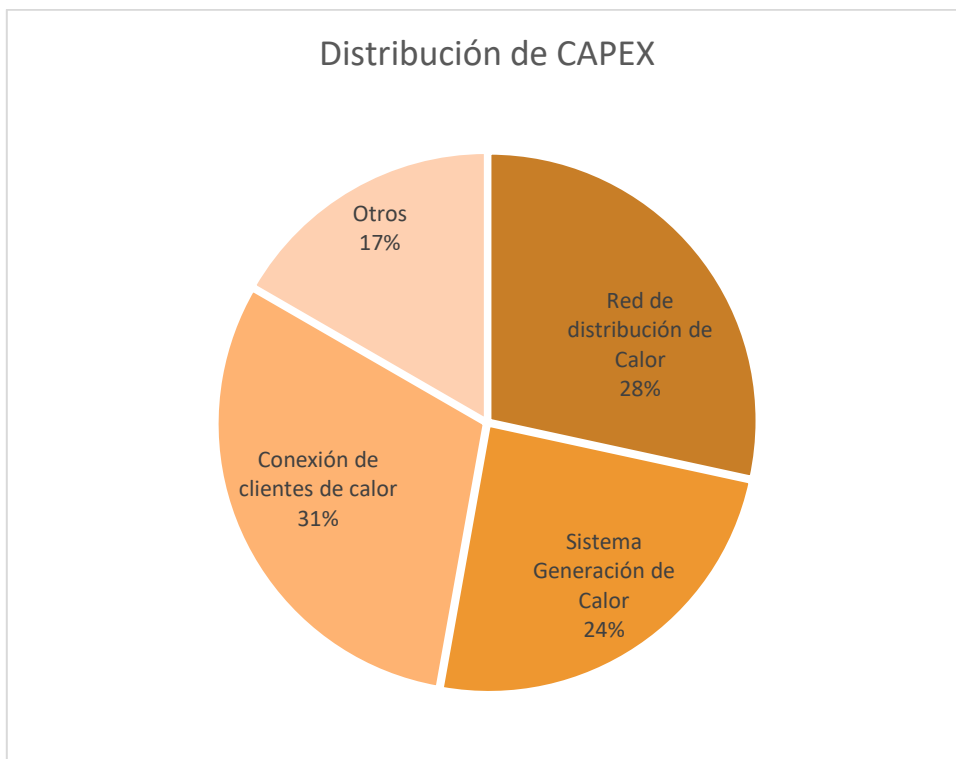


Ilustración 73. Distribución de CAPEX en valor presente

7.7.5. INDICADORES FINANCIEROS

Se presentan a continuación los principales indicadores financieros:

Parámetro	Unidad	Valor
TIR a 30 años ¹³	-	12,00%
VAN [MMCLP]	MMCLP	-14
LEC Calor Vendido	CLP/MWh	64.272
LEC Calor Generado	CLP/MWh	24.682

Tal como se puede observar el LEC de generación, que incluye únicamente los costos de generación, pues es el valor máximo al que habría que comprar energía térmica útil a cualquier suministrador o tecnología que se quiera incorporar por ser esta la referencia. Se observa que es un costo efectivo muy bajo, lo que hace muy difícil el uso de, por ejemplo, energía solar térmica.

¹³ Tasa Interna de Retorno Nominal, dado que su calculo incluye la inflación



8. EVALUACIÓN SOCIAL (MIDESO)

8.1. GENERALIDADES

Para evaluar socialmente el proyecto, se ha utilizado directamente la metodología del Ministerio de Desarrollo Social, de forma que ésta sea útil y homologable en general para las Municipalidades y otras administraciones públicas implicadas en el proyecto.

8.2. COYHAIQUE

Para la evaluación del proyecto se adoptará el enfoque costo-eficiencia, ya que existe dificultad para cuantificar y/o valorar los beneficios del proyecto en esta etapa de perfil, por lo tanto, se utiliza el indicador de costo anual equivalente CAE¹⁴, para representar la conveniencia del proyecto desde el punto de vista técnico económico.

Costo Anual Equivalente

$$CAE = VAC * \left[\frac{r * (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} \right]$$
$$VAC = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + r)^t}$$
$$CAE = \left[\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1 + r)^t} \right] * \left[\frac{r * (1 + r)^n}{(1 + r)^n - 1} \right]$$

$$CAE \text{ por Beneficiario} = \frac{CAE}{(Proyección \text{ de beneficiarios})}$$

donde:

C_t : costos incurridos durante el periodo t

n : horizonte de evaluación

r : tasa social de descuento

¹⁴ Metodología General de Preparación y Evaluación Social de Proyectos. Versión 2013. División de Evaluación Social de Inversiones, Ministerio de Desarrollo Social.



8.2.1. RESUMEN PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Los montos del presupuesto que se presentan a continuación corresponden a precios privados IVA incluido e incluyen la mano de obra. En las tablas se presentan los componentes de las partidas, detallando la unidad correspondiente, cantidad, precio unitario y el total que corresponde a cada uno de ellos.

Tabla 37. Presupuesto Inversiones Proyecto Coyhaique

	Inversión Total. Valores por Fase y Año (MMCLP)				
	Fase 0 Año 1	Fase 1 Año 2	Fase 2 Año 3	Fase 3 Año 4	Fase 4 Año 5
Adaptación instalaciones interiores de casas	437	6.546	3.048	9.488	7.332
Conexión de casas y edificios	488	4.281	3.164	6.347	5.093
Sub Total Conexiones e interiores	925	10.827	6.212	15.835	12.425
Obra Civil	178	1.210	1.181	1.839	1.408
Instalación tubería y accesorios	903	6.123	5.975	9.304	7.124
Sub Total Piping	1.081	7.333	7.156	11.143	8.532
Calderas de gas natural (MW)	78	81	190	216	181
Calderas de biomasa y accesorios (MW)	0	2.413	2.490	2.569	2.652
Motores de cogeneración (MW)	0	0	0	0	0
Bombas de Calor	0	0	0	0	0
Acumulación (m3)	0	183	199	214	210
Sistema de recirculación	90	612	598	930	712
Edificio Central Térmica (m2)	165	1.309	1.644	1.757	1.688
Otros	33	460	512	569	544
Subtotal Generación	367	5.057	5.632	6.255	5.988
Ingeniería e indirectos	237	2.322	1.900	3.323	2.694
Imprevistos	237	2.322	1.900	3.323	2.694
Inversión Total	2.848	27.860	22.800	39.880	32.333



Tabla 38. Presupuesto Costos de Mantenimiento Proyecto Coyhaique

Costos de Mantenimiento (MMCLP) Proyecto Coyhaique				
Período	Mantenimiento Red de Calor	Mantenimiento Generación de Calor	Administración y Gestión	Total, Costos por año
Año 1	28	12	50	90
Año 2	317	64	261	642
Año 3	570	141	598	1.309
Año 4	1.026	227	949	2.202
Año 5	1.426	310	1.302	3.038
Año 6	1472	320	1.344	3.136
Año 7	1519	330	1.387	3.236
Año 8	1567	340	1.431	3.338
Año 9	1618	351	1.477	3.446
Año 10	1669	362	1.524	3.555
Año 11	1723	374	1.573	3.670
Año 12	1778	386	1.623	3.787
Año 13	1835	398	1.675	3.908
Año 14	1893	411	1.729	4.033
Año 15	1954	424	1.784	4.162
Año 16	2017	438	1.841	4.296
Año 17	2081	452	1.900	4.433
Año 18	2148	466	1.961	4.575
Año 19	2216	481	2.024	4.721
Año 20	2287	497	2.089	4.873
Año 21	2360	513	2.155	5.028
Año 22	2436	529	2.224	5.189
Año 23	2514	546	2.296	5.356
Año 24	2594	563	2.369	5.526
Año 25	2677	581	2.445	5.703
Año 26	2763	600	2.523	5.886
Año 27	2852	619	2.604	6.075
Año 28	2943	639	2.687	6.269
Año 29	3037	659	2.773	6.469
Año 30	3134	681	2.862	6.677



Tabla 39. Presupuesto Costos de Operación Proyecto Coyhaique

Costos de Operación (MMCLP) Proyecto Coyhaique				
Período	Biomasa	GLP	Electricidad	Total, Costos por año
Año 1	0,0	486,3	11,1	497,4
Año 2	737,8	218,1	68,2	1.024,1
Año 3	1.580,0	564,5	148,1	2.292,6
Año 4	2.511,2	1.066,4	238,9	3.816,5
Año 5	3.435,3	1.491,2	327,4	5.253,9
Año 6	3.538,3	1.573,2	337,6	5.449,1
Año 7	3.644,5	1.659,7	348,1	5.652,3
Año 8	3.753,8	1.751,0	359,0	5.863,8
Año 9	3.866,4	1.847,3	370,1	6.083,8
Año 10	3.982,4	1.948,9	381,6	6.312,9
Año 11	4.101,9	2.056,1	393,5	6.551,5
Año 12	4.224,9	2.169,2	405,7	6.799,8
Año 13	4.351,7	2.288,5	418,4	7.058,6
Año 14	4.482,2	2.414,3	431,4	7.327,9
Año 15	4.616,7	2.547,1	444,8	7.608,6
Año 16	4.755,2	2.687,2	458,6	7.901,0
Año 17	4.897,8	2.835,0	472,9	8.205,7
Año 18	5.044,8	2.990,9	487,6	8.523,3
Año 19	5.196,1	3.155,4	502,7	8.854,2
Año 20	5.352,0	3.329,0	518,4	9.199,4
Año 21	5.512,6	3.512,1	534,5	9.559,2
Año 22	5.677,9	3.705,2	551,1	9.934,2
Año 23	5.848,3	3.909,0	568,3	10.325,6
Año 24	6.023,7	4.124,0	585,9	10.733,6
Año 25	6.204,4	4.350,8	604,2	11.159,4
Año 26	6.390,6	4.590,1	622,9	11.603,6
Año 27	6.582,3	4.842,6	642,3	12.067,2
Año 28	6.779,8	5.108,9	662,3	12.551,0
Año 29	6.983,2	5.389,9	682,9	13.056,0
Año 30	7.192,7	5.686,4	704,1	13.583,2



8.2.2. COMPONENTES Y COSTOS PROYECTO EVALUACIÓN SOCIAL

De acuerdo con la normativa y metodología de corrección de precios sociales del Sistema Nacional de Inversiones¹⁵ del Ministerio de Desarrollo Social, se han dividido los costos del presupuesto por partidas del punto anterior, en cuatro componentes nominados; Costo de Construcción, Costo de Mantenimiento Anual, Costo de Operación Anual y Costo de Equipo.

En cada uno de dichos componentes, se presenta primero un resumen en donde se nombran las partidas integrantes y los costos totales separados en; NETO (montos sin IVA), BRUTO (montos con IVA incluido) y SOCIAL (montos a precios sociales), luego se detallan para cada componente, la distribución porcentual considerada en cada costo de mano de obra, materiales nacional e importado, junto a los coeficientes de ajuste a precios sociales y su resultado en cada ítem de costo.

El resultado global del ajuste de los costos a precios sociales de cada componente es el siguiente:

		Valores por Fase y Año (MMCLP)					
		CC = Costo de Construcción			CE = Costo de Equipos		
		NETO	BRUTO	SOCIAL	NETO	BRUTO	SOCIAL
Fase 0	Año 1	2.250	2.678	2.047	141	168	139
Fase 1	Año 2	20.803	24.756	18.928	2.610	3.106	2.578
Fase 2	Año 3	16.406	19.523	14.928	2.755	3.278	2.721
Fase 3	Año 4	30.390	36.164	27.650	3.122	3.715	3.084
Fase 4	Año 5	24.191	28.787	22.010	2.979	3.545	2.943

A continuación, se presenta el detalle de cada componente a utilizar en la evaluación del indicador de costo eficiencia establecido.

¹⁵ <http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/evaluacion/ex-ante/normas/>



8.2.2.1. CC = COSTO DE CONSTRUCCIÓN

Partida Integrante

Montos (Millones de pesos chilenos)

Costo de Construcción (*); Subtotales de Piping, de Generación (Acumulación, Edificio Central Térmica y Otros) y Conexiones e interiores. También se incluyen montos de Ingeniería - indirectos e imprevistos.

		CC = Costo de Construcción		
		NETO	BRUTO	SOCIAL
Fase 0	Año 1	2.250	2.678	2.047
Fase 1	Año 2	20.803	24.756	18.928
Fase 2	Año 3	16.406	19.523	14.928
Fase 3	Año 4	30.390	36.164	27.650
Fase 4	Año 5	24.191	28.787	22.010

(*) Costo de Construcción: Para la evaluación social se ha considerado esta agrupación considerando su naturaleza y criterios de ajustes a precios sociales.



Detalle de ajuste a Precios Sociales

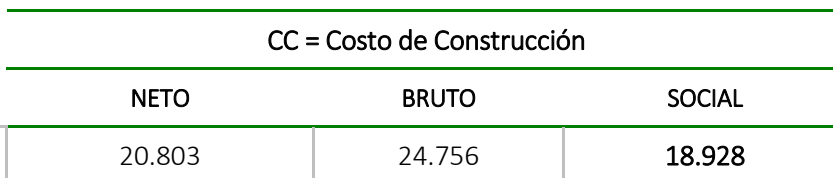
		CC = Costo de Construcción		
		NETO	BRUTO	SOCIAL
Fase 0	Año 1	2.250	2.678	2.047

I.- MONTO CONSTRUCCIÓN **2.678**

1.- MONTO INVERSIÓN NETO DE IMPUESTOS **2.250**

2.- MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS

2.1 MATERIALES		Porcentaje	68,0%	Monto	1.530
2.1.1	NACIONAL	Porcentaje	70,0%	Monto	1.071
			%		
	- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES		1,2%	13	
	- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES		98,8%	1.058	
		Factor de Ajuste T.C.	1,01		
				COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES	13
				COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES	1.071
2.1.2	IMPORTADO	Porcentaje	30,0%	Monto	459
		Tasa Arancelaria Promedio	0,89%	Factor de Ajuste T.C.	1,01
				COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS	460
				COSTO SOCIAL MATERIALES	1.531
2.2 MANO DE OBRA		Porcentaje	32,0%	Monto	720
		% de Participación		Costo	Factor de Corrección
	MANO DE OBRA NO CALIFICADA	38,0%		274	0,62
	MANO DE SEMI CALIFICADA	42,0%		302	0,68
	MANO DE OBRA CALIFICADA	20,0%		144	0,98
				COSTO SOCIAL MANO DE OBRA	516
				COSTO SOCIAL CONSTRUCCIÓN	2.047

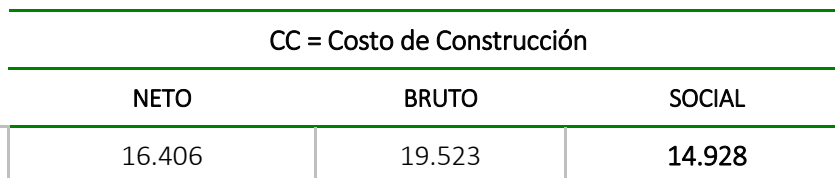


I.- MONTO CONSTRUCCIÓN	24.756
------------------------	--------

1.- MONTO INVERSIÓN NETO DE IMPUESTOS	20.803
---------------------------------------	--------

2.- MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS

2.1 MATERIALES		Porcentaje	68,0%	Monto	14.146
2.1.1	NACIONAL	Porcentaje	70,0%	Monto	9.902
			%		
	- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES		2,6%		257
	- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES		97,4%		9.645
		Factor de Ajuste T.C.	1,01	COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES	260
				COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES	9.905
2.1.2	IMPORTADO	Porcentaje	30,0%	Monto	4.244
	Tasa Arancelaria Promedio	Factor de Ajuste T.C.	0,89%		
			1,01	COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS	4.249
				COSTO SOCIAL MATERIALES	14.153
2.2 MANO DE OBRA		Porcentaje	32,0%	Monto	6.657
		% de Participación	Costo	Factor de Corrección	Costo Social Mano de Obra
	MANO DE OBRA NO CALIFICADA	38,0%	2.530	0,62	1.568
	MANO DE SEMI CALIFICADA	42,0%	2.796	0,68	1.901
	MANO DE OBRA CALIFICADA	20,0%	1.331	0,98	1.305
				COSTO SOCIAL MANO DE OBRA	4.774
				COSTO SOCIAL CONSTRUCCIÓN	18.928



2.- MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS

CC = Costo de Construcción

		NETO	BRUTO	SOCIAL
Fase 3	Año 4	30.390	36.164	27.650

I.- MONTO CONSTRUCCIÓN 36.164

1.- MONTO INVERSIÓN NETO DE IMPUESTOS 30.390

2.- MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS

2.1 MATERIALES		Porcentaje	68,0%	Monto	20.665
2.1.1	NACIONAL	Porcentaje	70,0%	Monto	14.466
			%		
	- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES		2,2%		318
	- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES		97,8%		14.147
		Factor de Ajuste T.C.	1,01	COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES	321
				COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES	14.469
2.1.2	IMPORTADO	Porcentaje	30,0%	Monto	6.200
		Tasa Arancelaria Promedio	0,89%	Factor de Ajuste T.C.	1,01
				COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS	6.206
				COSTO SOCIAL MATERIALES	20.675
2.2 MANO DE OBRA		Porcentaje	32,0%	Monto	9.725
		% de Participación	Costo	Factor de Corrección	Costo Social Mano de Obra
	MANO DE OBRA NO CALIFICADA	38,0%	3.695	0,62	2.291
	MANO DE SEMI CALIFICADA	42,0%	4.084	0,68	2.777
	MANO DE OBRA CALIFICADA	20,0%	1.945	0,98	1.906
				COSTO SOCIAL MANO DE OBRA	6.975
				COSTO SOCIAL CONSTRUCCIÓN	27.650

CC = Costo de Construcción

		NETO	BRUTO	SOCIAL
Fase 4	Año 5	24.191	28.787	22.010

I.- MONTO CONSTRUCCIÓN 28.787

1.- MONTO INVERSIÓN NETO DE IMPUESTOS 24.191

2.- MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS

2.1 MATERIALES		Porcentaje	68,0%	Monto	16.450	
2.1.1	NACIONAL	Porcentaje	70,0%	Monto	11.515	
			%			
	- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES		2,6%	299		
	- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES		97,4%	11.215		
		Factor de Ajuste T.C.	1,01	COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES	302	
				COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES	11.518	
2.1.2	IMPORTADO	Porcentaje	30,0%	Monto	4.935	
	Tasa Arancelaria Promedio	Factor de Ajuste T.C.	0,89%	1,01	COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS	4.940
				COSTO SOCIAL MATERIALES	16.458	

2.2 MANO DE OBRA		Porcentaje	32,0%	Monto	7.741
		% de Participación	Costo	Factor de Corrección	Costo Social Mano de Obra
	MANO DE OBRA NO CALIFICADA	38,0%	2.942	0,62	1.824
	MANO DE SEMI CALIFICADA	42,0%	3.251	0,68	2.211
	MANO DE OBRA CALIFICADA	20,0%	1.548	0,98	1.517
				COSTO SOCIAL MANO DE OBRA	5.552
				COSTO SOCIAL CONSTRUCCIÓN	22.010



8.2.2.2. CM = COSTO DE MANTENCIÓN ANUAL

Partida Integrante

Montos (Millones de pesos chilenos)

Costo de Mantenición (Para la evaluación se suponen Servicios Contratados Mantenimiento Red de Calor, Mantenimiento Generación de Calor y Administración y Gestión)

Detalle de ajuste a Precios Sociales (se utilizan los siguientes factores para cada monto anual)

II.- COSTO MANTENCIÓN ANUAL				Período	Costos de Mantenición
1.- SERVICIOS CONTRATADOS				Año 0	
1.1 SERVICIOS CONTRATADOS	%	100,0%		Año 1	67
MONTO SERVICIOS CONTRATADOS NETO DE IMPUESTOS (IV)				Año 2	480
Corrección de precios de materiales para Servicios Contratados				Año 3	979
1.1.1 MATERIALES	Porcentaje	65,0%	Monto	Año 4	1.647
2.1.1 NACIONAL	Porcentaje	70,0%		Año 5	2.272
- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES	%	33,0%		Año 6	2.345
- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES	%	67,0%		Año 7	2.420
Factor de Ajuste T.C.				Año 8	2.496
1,01				Año 9	2.577
COSTO SOCI				Año 10	2.659
2.1.2 IMPORTADO	Porcentaje	30,0%		Año 11	2.745
Tasa Arancelaria Promedio	Factor de Ajuste T.C.	0,9%	1,01	Año 12	2.832
Corrección de precios de mano de obra para Servicios Contratados				Año 13	2.923
1.1.2 MANO DE OBRA	Porcentaje	35,0%	Monto	Año 14	3.016
MANO DE OBRA NO CALIFICADA	% de Participación	60,0%		Año 15	3.113
MANO DE SEMI CALIFICADA	% de Participación	30,0%		Año 16	3.213
MANO DE OBRA CALIFICADA	% de Participación	10,0%		Año 17	3.315
COSTO SOCIAL MANTENCIÓN SERVICIOS CONTRATADOS				Año 18	3.422
				Año 19	3.531
				Año 20	3.645
				Año 21	3.760
				Año 22	3.881
				Año 23	4.006
				Año 24	4.133
				Año 25	4.265
				Año 26	4.402
				Año 27	4.543
				Año 28	4.689
				Año 29	4.838
				Año 30	4.994



8.2.2.3. CO = COSTO DE OPERACIÓN ANUAL

Partida Integrante

Montos (pesos chilenos)

Costo de Operación
(Para la evaluación se considera el costo operacional relevante como el costo de Biomasa, Gas natural y Electricidad)

Detalle de ajuste a Precios Sociales (se utilizan los siguientes factores para cada monto anual)

III.- COSTOS OPERACIÓN ANUAL				
1.- SERVICIOS CONTRATADOS				
1.1 SERVICIOS CONTRATADOS		%	100,0%	
MONTO SERVICIOS CONTRATADOS NETO DE IMPUESTOS (IV)				
Corrección de precios de materiales para Servicios Contratados				
1.1.1 MATERIALES	Porcentaje	100,0%		Monto
2.1.1 NACIONAL	Porcentaje	100,0%		
		%		
- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES		0,0%		
- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES		100,0%		
	Factor de Ajuste T.C.	1,01		COSTO SOCIAL
2.1.2 IMPORTADO	Porcentaje	0,0%		
	Tasa Arancelaria Promedio	0,9%		
	Factor de Ajuste T.C.	1,01		
COSTO SOCIAL OPERACIÓN SERVICIOS CONTRATADOS				

Período	Costos de Operación
Año 0	
Año 1	418
Año 2	861
Año 3	1.927
Año 4	3.207
Año 5	4.415
Año 6	4.579
Año 7	4.750
Año 8	4.928
Año 9	5.112
Año 10	5.305
Año 11	5.505
Año 12	5.714
Año 13	5.932
Año 14	6.158
Año 15	6.394
Año 16	6.639
Año 17	6.896
Año 18	7.162
Año 19	7.441
Año 20	7.731
Año 21	8.033
Año 22	8.348
Año 23	8.677
Año 24	9.020
Año 25	9.378
Año 26	9.751
Año 27	10.141
Año 28	10.547
Año 29	10.971
Año 30	11.414



8.2.2.4. CE = COSTO DE EQUIPOS

Partida Integrante

Montos (Millones de pesos chilenos)

Costo de Equipos (*): Calderas de gas natural (MW), Calderas de biomasa y Sistema de recirculación.

		CE = Costo de Equipos		
		NETO	BRUTO	SOCIAL
Fase 0	Año 1	141	168	139
Fase 1	Año 2	2.610	3.106	2.578
Fase 2	Año 3	2.755	3.278	2.721
Fase 3	Año 4	3.122	3.715	3.084
Fase 4	Año 5	2.979	3.545	2.943

(*) **Costo de Equipos:** Para la evaluación social se ha considerado esta agrupación considerando su naturaleza y criterios de ajustes a precios sociales.



		CE = Costo de Equipos		
		NETO	BRUTO	SOCIAL
Fase 2	Año 3	2.755	3.278	2.721

IV.- MONTO EQUIPOS 3.278

1.- MONTO INVERSIÓN NETO DE IMPUESTOS 2.755

2.- SEPARAR MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS

2.1 MATERIALES		Porcentaje	95,0%	Monto	2.617
2.1.1	NACIONAL	Porcentaje	55,0%	Monto	1.439
				%	
				- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES	33,0% 475
				- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES	67,0% 964
				Factor de Ajuste T.C.	1,01
				COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES	480
				COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES	1.444
2.1.2	IMPORTADO	Porcentaje	45,0%	Monto	1.178
		Tasa Arancelaria Promedio	0,89%	Factor de Ajuste T.C.	1,01
				COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS	1.179
				COSTO SOCIAL MATERIALES	2.623
2.2	MANO DE OBRA	Porcentaje	5,0%	Monto	138
		% de Participación	Costo	Factor de Corrección	Costo Social Mano de Obra
		MANO DE OBRA NO CALIFICADA	20,0% 28	0,62	17
		MANO DE SEMI CALIFICADA	65,0% 90	0,68	61
		MANO DE OBRA CALIFICADA	15,0% 21	0,98	20
				COSTO SOCIAL MANO DE OBRA	98
				COSTO SOCIAL EQUIPOS	2.721



CE = Costo de Equipos		
	NETO	BRUTO
Fase 3	3.122	3.715
Año 4		
	SOCIAL	
	3.084	

IV.- MONTO EQUIPOS 3.715

1.- MONTO INVERSIÓN NETO DE IMPUESTO 3.122

2.- SEPARAR MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS

2.1 MATERIALES	Porcentaje	95,0%	Monto	2.966
2.1.1 NACIONAL	Porcentaje	55,0%	Monto	1.631
		%		
- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES		33,0%	538	
- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES		67,0%	1.093	
		Factor de Ajuste T.C.		
		1,01	COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES	544
				COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES 1.637
2.1.2 IMPORTADO	Porcentaje	45,0%	Monto	1.335
		Tasa Arancelaria Promedio	Factor de Ajuste T.C.	
		0,89%	1,01	COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS 1.336
				COSTO SOCIAL MATERIALES 2.973
2.2 MANO DE OBRA	Porcentaje	5,0%	Monto	156
	% de Participación	Costo	Factor de Corrección	Costo Social Mano de Obra
MANO DE OBRA NO CALIFICADA	20,0%	31	0,62	19
MANO DE SEMI CALIFICADA	65,0%	101	0,68	69
MANO DE OBRA CALIFICADA	15,0%	23	0,98	23
				COSTO SOCIAL MANO DE OBRA 111
				COSTO SOCIAL EQUIPOS 3.084



		CE = Costo de Equipos		
		NETO	BRUTO	SOCIAL
Fase 4	Año 5	2.979	3.545	2.943

IV.- MONTO EQUIPOS **3.545**

1.- MONTO INVERSIÓN NETO DE IMPUESTOS **2.979**

2.- SEPARAR MANO DE OBRA DE MATERIALES E INSUMOS

2.1 MATERIALES	Porcentaje	95,0%	Monto	2.830
----------------	------------	-------	-------	-------

2.1.1 NACIONAL	Porcentaje	55,0%	Monto	1.557
----------------	------------	-------	-------	-------

	%	
- MATERIALES NACIONALES TRANSABLES	33,0%	514
- MATERIALES NACIONALES NO TRANSABLES	67,0%	1.043

Factor de
Ajuste T.C.

1,01

COSTO SOCIAL MAT. NAC. TRANSABLES **519**

COSTO SOCIAL MATERIALES NACIONALES 1.562

2.1.2 IMPORTADO	Porcentaje	45,0%	Monto	1.274
-----------------	------------	-------	-------	-------

Tasa Arancelaria
Promedio

0,89%

Factor de
Ajuste T.C.

1,01

COSTO SOCIAL MATERIALES IMPORTADOS 1.275

COSTO SOCIAL MATERIALES 2.837

2.2 MANO DE OBRA	Porcentaje	5,0%	Monto	149
------------------	------------	------	-------	-----

	% de Participación	Costo	Factor de Corrección	Costo Social Mano de Obra
MANO DE OBRA NO CALIFICADA	20,0%	30	0,62	18
MANO DE SEMI CALIFICADA	65,0%	97	0,68	66
MANO DE OBRA CALIFICADA	15,0%	22	0,98	22

COSTO SOCIAL MANO DE OBRA 106

COSTO SOCIAL EQUIPOS 2.943



8.2.3. EVALUACIÓN DE INDICADOR COSTO-EFICIENCIA A PRECIOS SOCIALES

Considerando un período de evaluación de 30 años, la inversión inicial como la suma del costo de construcción y el costo de equipos (CC+CE), los costos de operación (CO), los costos de mantención (CM), la tasa social de descuento vigente y los beneficiarios identificados como la población total de la comuna de Coyhaique, se presenta a continuación el detalle por año de la evaluación económica a precios sociales, con su respectivo costo anual equivalente por beneficiario.

Tasa Social de Descuento				6,00%
Número de Beneficiarios				57.818
Período	Inversión	Costos de Operación	Costos de Mantención	Total, Costos
Año 0	2.187			2.187
Año 1	21.506	418	67	21.992
Año 2	17.649	861	480	18.990
Año 3	30.734	1.927	979	33.639
Año 4	24.953	3.207	1.647	29.807
Año 5		4.415	2.272	6.687
Año 6		4.579	2.345	6.924
Año 7		4.750	2.420	7.170
Año 8		4.928	2.496	7.424
Año 9		5.112	2.577	7.690
Año 10		5.305	2.659	7.964
Año 11		5.505	2.745	8.250
Año 12		5.714	2.832	8.546
Año 13		5.932	2.923	8.854
Año 14		6.158	3.016	9.174
Año 15		6.394	3.113	9.507
Año 16		6.639	3.213	9.852
Año 17		6.896	3.315	10.211
Año 18		7.162	3.422	10.584
Año 19		7.441	3.531	10.971
Año 20		7.731	3.645	11.375
Año 21		8.033	3.760	11.793
Año 22		8.348	3.881	12.229
Año 23		8.677	4.006	12.683
Año 24		9.020	4.133	13.153
Año 25		9.378	4.265	13.643
Año 26		9.751	4.402	14.153
Año 27		10.141	4.543	14.684
Año 28		10.547	4.689	15.236
Año 29		10.971	4.838	15.810
Año 30		11.414	4.994	16.408
Valor Actual de los Costos (VAC) (MMCLP)				190.833
Costo Anual Equivalente (CAE) (MMCLP)				13.864
CAE por Beneficiario (MMCLP)				0,239784
CAE por Beneficiario (pesos)				\$ 239.784



8.2.3.1. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO

De acuerdo con la metodología de evaluación social vigente y tipo de proyecto a evaluar, se determina el uso del indicador de costo-eficiencia; Costo Anual Equivalente (CAE) por beneficiario a precios sociales, con el objetivo de identificar el costo social que genera el presente proyecto para los beneficiarios de la población.

Con la determinación del presupuesto del proyecto con montos a precios privados IVA incluido cuyos montos se especifican en las tablas de este ítem, se utiliza la normativa y metodología de corrección de precios sociales del Sistema Nacional de Inversiones, del Ministerio de Desarrollo Social, para cuantificar y ajustar a precios sociales los componentes del proyecto para su evaluación. En esta etapa se desarrollaron cuatro componentes con su respectivo costo social, estos son;

- Costo de Construcción = Para cada una de las fases y años,
- Costo de Mantenimiento Anual = Montos detallados por año,
- Costo de Operación Anual = Montos detallados por año y
- Costo de Equipos = Para cada una de las fases y años.

Finalmente, se proyectan los costos a precios sociales en el período de evaluación de 30 años, considerando las 5 fases de inversiones (construcción y equipos), junto a los costos de mantenimiento y operación anual mencionados anteriormente para el período, cuyos resultados finales de la evaluación social (con una tasa de descuento del 6% y número de beneficiarios de la comuna de Coyhaique de 57.818) resultan en un Valor Actual de los Costos (VAC) de MMCLP 190.833, un Costo anual equivalente (CAE) de MMCLP 13.864 y **CAE por beneficiario (en pesos) de \$239.784.**



9. PROYECCIÓN DE OFERTA DE ENERGÍA

9.1. INTRODUCCIÓN

La implantación de un sistema de energía distrital y su gestión estratégica a medio y largo plazo, requiere de un planteamiento asociado a la generación energética presente y futura, tomando en cuenta los recursos disponibles y la proyección local y regional.

El presente proyecto plantea una solución basal, con tecnología conocida, con bajos costes tanto de implantación como de explotación, que permite demostrar la viabilidad del sistema integrado en su entorno y con los recursos disponibles. Además, el análisis demuestra que no se dan las condiciones del sistema eléctrico para el uso de bombas de calor y que, de las tecnologías de uso de la biomasa disponibles, hoy la mejor opción es la biomasa térmica.

Pero es razonable que cambien aspectos de estos escenarios o que se den sinergias que permitan su alteración para generar resultados más interesantes desde un punto de vista más global o incluso local, como puede ser una reducción de costos de energía eléctrica en el sistema por un cambio regulatorio, la aparición de un promotor de ERNC que quiera hacer un PPA en algunas horas del día para rentabilizar una operación o el desarrollo de un proyecto de gran escala de procesamiento de biomasa para generación de gas de origen biomasa con costos competitivos para cogerar.

Dadas estas posibilidades, se ha analizado la política energética regional, para identificar y visualizar el contexto de desarrollo en este sentido. Cabe decir que nada de lo identificado hace pensar en un cambio de estas condiciones a corto plazo.

Así, la región de Aysén posee abundantes recursos energéticos, teniendo un potencial importante de recursos renovables. Al no contar con reservas fósiles (hidrocarburos y carbón) como ocurre para el caso de la Región de Magallanes, se prevé para los próximos años que, para dar a vasto al crecimiento de la demanda energética, comiencen a desarrollarse proyectos que se basen en recursos renovables tales como la energía eólica, la solar, la biomasa, la geotermia, entre otras, e conjunto con la implementación de programas y proyectos ligados a la eficiencia energética.

9.2. GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE ENERGÍA EÓLICA

En la actualidad, la región de Aysén cuenta con una capacidad instalada de 7 MWe eólicos asociados a la generación eléctrica, los cuales corresponden a 3,8 MWe de Edelayen, 1,8 MWe en la mina Cerro Bayo y otros 1,4 en la mina El Toqui. En el sector oriente de la región se encuentra un número importante de zonas donde la velocidad media anual del viento supera los 10 m/s, siendo una



magnitud superior a 8 m/s una velocidad apropiada para evaluar proyectos de parque eólicos. En base a esto, se estima que existe un potencial energético ligado a este recurso de 2.234 MW en zonas con un factor de planta superior a 40%, lo cual pone sobre la mesa el alto potencial de este recurso renovable en la región.

Localidades	Zonas favorables FP 30% [ha]	Potencial eólico, zonas favorables FP 30% [MW]	Factor de planta > 40% en zona de Modelo de Análisis Espacial [ha]	Potencial eólico FP > 40% [MW]
Coyhaique	26.905	2.691	6.882	688
Puerto Aysén	3.919	392	631	63
Chile Chico	19.563	1.956	14.488	1.449
Puerto Cisnes	2.647	265	309	31
Cochrane	1.938	194	26	3
Melinka	1.634	163	-	-
TOTAL	56.606	5.661	22.336	2.234

Ilustración 74. Potencial de generación eólica en MWe según comuna en la región de Aysén. Fuente: [7]

Considerando lo anterior, y con el propósito de seguir diversificando la matriz energética de la región de Aysén, se tiene previsto como meta llevar a cabo la construcción y puesta en marcha de un parque eólico que permita satisfacer de una manera limpia y sustentable el crecimiento de la demanda de electricidad en Coyhaique para los próximos años [1].

9.3. ENERGÍA SOLAR

En base a los datos arrojados por el Explorador Solar, se tiene que la radiación solar media en la región de Aysén es mayor hacia el sector oriente de esta, alcanzando valores próximos a 4,5 kWh/m² día, magnitud que se compara con los valores reportados en las zonas centro-sur del Chile (ejemplo: Temuco). Ante estas condiciones, el gobierno tiene previsto dentro de sus lineamientos realizar una compra asociativa de paneles fotovoltaicos y colectores solares para el área residencial o comercial, y de esta manera asegurar la calidad de tales equipos a través de la elaboración de requerimientos técnicos adecuados con el apoyo de profesionales. Este proyecto de corto y mediano plazo está dirigido a ciudad de Coyhaique.



9.4. ENERGÍA HIDRÁULICA

En base al Estudio de Cuencas realizado por el Ministerio de Energía en conjunto con el Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile de la Universidad de Concepción, se identificó un potencial teórico bruto de la región en lo que respecta generación eléctrica 6.876 MWe considerando las siguientes cuencas hidrográficas: Palena, Cisnes, Aysén, Baker y Pascua. Dicho potencial toma en cuenta el recurso hídrico disponible en todos los tramos de cada una de estas cuencas, descontando el recurso hídrico relacionado a derechos de aguas consuntivos (DAAC) y a proyectos en alguna etapa de evaluación ambiental, o que se vinculen a centrales hidroeléctricas existentes.

Cuenca	Potencial Teórico (MW)	Potencial Teórico descontado DAAC (MW)	Potencial Bruto descontando caudales de reserva (MW)	Potencial Bruto descontando Potencial en Parques Nacionales (MW)
Palena	1.798	1.797	1.797	1.764
Cisnes	670	655	619	613
Aysén	1.295	1.222	848	831
Baker	3.13	3.116	1.918	1.506
Pascua	1.695	1.694	1.694	1.253
TOTAL	8.588	8.484	6.876	5.967

Ilustración 75. Potencial hidroeléctrico en MWe según comuna en la región de Aysén. Fuente: [7].

Particularmente, para la ciudad de Coyhaique se ha propuesto como meta la ejecución y puesta en marcha de una planta hidroeléctrica a pequeña escala, para abastecer a una industria, comercio o residencias, y que tenga la opción de acogerse a la ley de generación distribuida. El propósito de este proyecto sería fomentar las centrales hidroeléctricas a escalas de menor tamaño [1].

9.5. ENERGÍA DE BIOMASA

En esta zona del país existe un alto potencial energético ligado a la biomasa. En la Ilustración 76. Superficie de bosque nativo aprovechable con fines energéticos por región. Fuente: Política Energética – Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, se muestra el potencial existente en base a la superficie de bosque nativo y a la superficie potencial disponible para plantaciones dendroenergéticas en la Región de Aysén y otras regiones del país, donde se observa que el mayor número de hectáreas disponibles corresponde a la Región de Aysén.

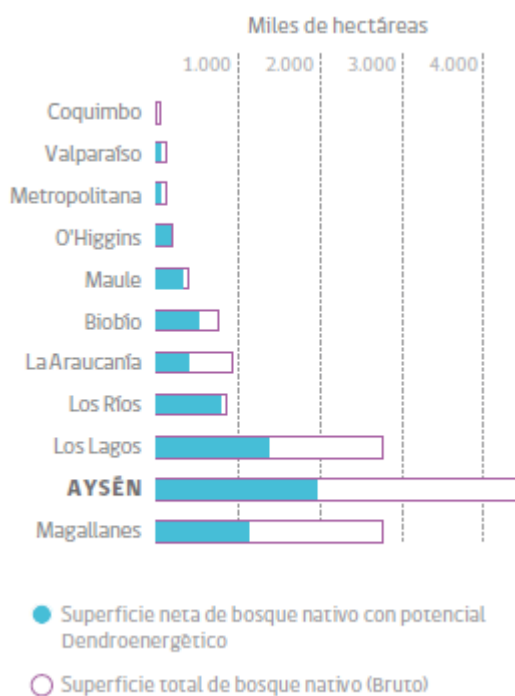


Ilustración 76. Superficie de bosque nativo aprovechable con fines energéticos por región. Fuente: Política Energética – Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.

En base a la información cartográfica de Conaf (Corporación Nacional Forestal) y considerando restricciones legales a la intervención de la superficie bruta de bosque nativo, se estima que en la Región de Aysén hay una superficie de bosque nativo con potencial energético de 1.966 mil hectáreas (de un total regional de 4.399 mil hectáreas), siendo la mayor en el país. A partir de esta superficie se estima que esta región tiene el mayor potencial a nivel nacional en lo que respecta generación eléctrica en base a biomasa, donde se alcanzan los 764,6 MWe, tal como se indica en la Ilustración 77.

Cabe destacar que la biomasa en la actualidad es un recurso no convencional de gran relevancia en la región ya que es la principal fuente de energía para producir calefacción, sobre todo a nivel residencial. En los próximos años, y considerando la ejecución de proyectos de calefacción distrital, es posible que el potencial energético ligado a la biomasa sea utilizado preferentemente para este fin.

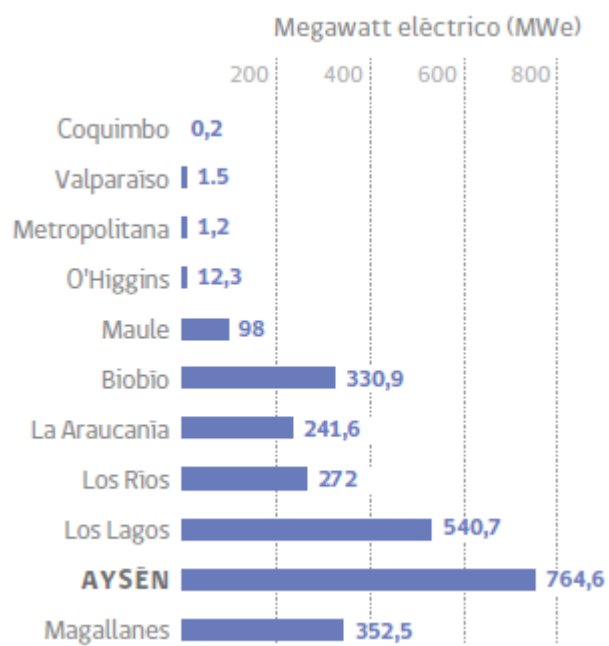


Ilustración 77. Potencial eléctrico del manejo del bosque nativo por región. Fuente: Política Energética – Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo



10. BIBLIOGRAFÍA

[1]	EBP, Municipalidad de Coyhaique, Ministerio de Energía, «Estrategias Energéticas Locales: Comuna de Coyhaique,» 2017.
[2]	Instituto Nacional de Estadísticas, «Censo 2017», 2017.
[3]	Departamento de Economía Ambiental Ministerio del Medio Ambiente, «Análisis general del impacto económico y social del proyecto definitivo del plan de descontaminación atmosférica para Coyhaique», Santiago, 2015.
[4]	Ministerio del Medio Ambiente, «Decreto 46: Plan de descontaminación atmosférica para la ciudad de Coyhaique y su zona circundante,» Santiago, Chile, 2016.
[5]	SEREMI del Medio Ambiente, «Actualización Inventario de Emisiones para la zona saturada de Coyhaique», 2017.
[6]	CEGA, Universidad de Chile, «Estimación y valorización del potencial geotérmico en la Región de Aysén,» Santiago, Chile, 2017.
[7]	Ministerio de Energía, «Política Energética 2050 Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo», 2018.
[8]	EBP, «Comuna Energética de Coyhaique,» 2015.
[9]	Instituto forestal, «Herramienta para negocios sustentables en biomasa forestal,» Región de Aysén, 2017.
[10]	Ministerio de Agricultura, «Estadísticas Forestales,» Disponible en: https://wef.infor.cl/precios/precios.php
[11]	Coordinador Eléctrico Nacional, «Mapa de Sistemas Eléctricos de Chile,» 2017.
[12]	Comisión Nacional de Energía, «Herramienta <i>Energía Maps</i> ». Disponible en: http://energiamaps.cne.cl/#
[13]	Corporación Nacional Forestal. «Herramienta Explorador de Bioenergía Forestal,» Disponible en: http://sit.conaf.cl/ .
[14]	EBP Chile SpA, Gestiona Group, Moritz Kopcke, COWI A/S, Inicio, «Estudio Normativo para la Calefacción Distrital en Chile, opciones para la cogeneración» 2019.
[15]	Sistema Nacional de Inversiones, Ministerio de Desarrollo Social «Normativa y Metodología de Evaluación Social,» Disponible en: http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/evaluacion/ex-ante/normas/
[16]	«Electricidad, la revista energética de Chile,» Disponible en: http://www.revistaei.cl/2019/04/25/senado-aprueba-en-general-proyecto-de-ley-de-eficiencia-energetica/
[17]	AChBIOM, «Biomasa: Oportunidades y Desafíos para la Generación de Valor para la PyME Forestal,» 2017.
[18]	AChBIOM, «Economía Circular y Energía Distrital para la Macro – Región del Biobío,» 2018.
[19]	International finance group, «Converting Biomass to Energy Washington D.C, » EEUU, 2017.



[20]	«Projecte ecocongestió inversió generació Biomassa/Biogàs/Gasxarxa/ DH0 i DH1»
[21]	Acer Agroforestal S.L. «Logística de la biomasa forestal Estella,» España.
[22]	Gabriel Ismael Martínez Olivares, «Proyecto para la reducción de las emisiones de material particulado de la caldera de biomasa de la Clínica Alemana de Osorno,» Universidad de Chile, Santiago, 2014.
[23]	IDEA, «Biomasa: gasificación Madrid,» España, 2007.
[24]	KPA Unicon, «Biomass solutions Kiuruvesi, » Finlandia, 2014.
[25]	CT3 Ingeniería, «Diseño de gasificadores de lecho fluido,» Madrid, 2016.
[26]	IDEA, «Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración,» Madrid, 2007.
[27]	IDEA, «Biomasa: Industria Madrid,» España, 2008.
[28]	Manuel Campoy Naranjo, «Gasificación de biomasa y residuos en lecho fluidizado: Estudios en Planta Piloto Sevilla» Universidad de Sevilla, España, 2009.
[29]	CIBA, Ministerio de Energía, «Development proposal for Integrated Biomass Complex in Aysen».
[30]	INE, «Datos Polígono de Saturación,» 2017.
[31]	«Convenio de comodato y suministro Santiago,» Chile, 2019.
[32]	TRACTEBEL, «District Energy Rapid Assessments: Rapid Assessment on District Energy city of Coyhaique (Chile)» Santiago, Chile.
[33]	CDT, «Asesoría para el levantamiento y sistematización de información asociada a la oferta de leña y otros energéticos sólidos derivados de la madera desde la región de Valparaíso hasta la región de Aysén,» Santiago, Chile, 2015.
[34]	Dirección de vialidad Ministerio de Obras Públicas, «Categorización de propiedad de caminos de Puerto Williams,» Santiago, Chile, 2012.
[35]	DICTUC, «Evaluación de los programas de recambio realizados en la zona de Coyhaique,» Santiago, 2018.
[36]	MORI, «Caracterización de artefactos de calefacción residencial,» Coyhaique, Chile, 2015.
[37]	CDT, «Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera,» 2015.
[38]	osGREEN, «Establecimiento de larga estada,» Coyhaique, Región de Aysén, 2017.
[39]	Aguasol, «Anexo 01–Detalle de cálculo de demandas,» 2019.
[40]	EBP, «Estudio de Ingeniería de Detalle para Proyecto de Calefacción Distrital en el Sector Escuela Agrícola de Coyhaique,» Santiago, Chile.
[41]	TECNOCALOR E.I.R.L., «Especificaciones técnicas proyecto Calefacción Central y ACS Jardín Infantil Mi Pequeña Estancia Coyhaique – Aysén,» Santiago, 2017.
[42]	SEREMI del Medio Ambiente región de Aysén, «Proyecto de calefacción distrital Sector Escuela Agrícola,» Coyhaique, Octubre 2018.
[43]	SEREMI del Medio Ambiente región de Aysén, «Proyecto de calefacción distrital Lote 9 Sector Escuela Agrícola,» Coyhaique, Enero 2018.



[44]	Departamento de Economía Ambiental Ministerio del Medio Ambiente, «Análisis general del impacto económico y social del anteproyecto de plan de descontaminación atmosférica para la zona saturada de Coyhaique,» Santiago, 2017.
[45]	SEREMI del Medio Ambiente Región de Aysén, «Avances del PDA en las medidas que corresponden a medio ambiente,» 2017.
[46]	SERVIU Región de Aysén, «Ord. N°2108,» Coyhaique, 2017.
[47]	SERVIU Región de Aysén, «Reporte Medidas PDA Coyhaique 2017 Vivienda Coyhaique,» Chile, 2017.
[48]	Municipalidad Coyhaique, «Plan de Desarrollo Comunal Coyhaique 2014-2018 Informe n°1,» Coyhaique, Chile.
[49]	Municipalidad de Coyhaique, «Modificaciones al instrumento de planificación actualmente vigente Coyhaique,» Coyhaique, 2019.
[50]	Municipalidad de Coyhaique, «Plan regulador de Coyhaique - Ordenanza Local,» Coyhaique, Chile, 2005.
[51]	Ministerio de Energía, «Energía 2050. Anteproyecto de política energética para la región de Aysén al 2050,» 2017.
[52]	GTD, «Estudio de expansión de sistemas medianos de Edelayen S.A. Informe Final,» 2006.
[53]	Systep, «Reporte Mensual del Sector Eléctrico,» Santiago, 2018.
[54]	Systep, «Reporte Mensual del Sector Eléctrico,» Santiago, 2019.
[55]	Asociación de Generadoras de Chile, «Boletín del Mercado Eléctrico Sector Generación,» Santiago, Chile, 2018.
[56]	Grupo SAESA, «Cargos Tarifarios Osorno,» Chile, 2018.
[57]	Ministerio del Interior y Seguridad Pública, «Leyes, reglamentos, decretos y resoluciones de orden general,» Santiago, 2017.
[58]	Grupo SAESA, «Tarifas Reguladas y No Reguladas Vigentes e Históricas Osorno,» Chile, 2018.
[59]	Grupo SAESA, «Tarifas de servicios asociados a la distribución eléctrica,» Chile.
[60]	MNITEK, «Conversión de Motores Diesel-a-Gas Natural-Camiones, Buses y Generadores- "Creando demanda para el gas natural"».
[61]	John W. Lund and Tonya L. Boyd, «Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review» Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, Klamath Falls, OR 97601, USA, retired
[62]	Xavier Garcia Casals «Renovables 2.0» Greenpece 2014
[63]	Minister of Natural Resources Canada. «GROUND-SOURCE HEAT PUMP PROJECT ANALYSIS» 2001 – 2005 ISBN: 0-662-39150-0 Catalogue no.: M39-110/2005E-PDF
[64]	AGIES. Herlen Rojas, Paulina Schulz, Sandra Briceño <<Análisis General del Impacto Económico y Social del Anteproyecto de Plan de Descontaminación Atmosférica por MP ₁₀ y MP _{2,5} para la Zona Saturada de Coyhaique>> 28 de Junio, 2017
[65]	Ministerio del Medio Ambiente. <<Establece Plan de Descontaminación Atmosférica para la Ciudad de Coyhaique y su Zona Circundante>> 28 de Marzo, 2016



-
- [66] Ministerio del Medio Ambiente. <<Establece Plan de Descontaminación Atmosférica para la Ciudad de Coyhaique y su Zona Circundante>> 25 de Enero, 2018
-
- [67] Adelqui Fissore. <<Evaluación Independiente del Programa de Reacondicionamiento Térmico, Soluciones Energéticas, >> 2013.
-
- [68] John W. Lund, Tonya L. Boyd. <<Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review>>. Proceedings World Geothermal Congress 2015. 2015.
-