

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

**ESTUDIO DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN
VIVIENDAS SOCIALES Y SU EFECTO EN LA REDUCCIÓN DE
EMISIONES DE CO₂ DERIVADAS DE LA COMBUSTIÓN DE LEÑA
DOMICILIARIA**

**CASO APLICADO EN LA CIUDAD DE LLANQUIHUE, EN COLABORACIÓN CON
FUNDACIÓN LEGADO CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR: GABRIELA MACARENA AROS GATICA

PROFESOR GUÍA: DR. RODRIGO DEMARCO BULL

PROFESOR CORREFERENTE: FRANCISCO CEPEDA ALFARO

VALPARAÍSO, 3 DE DICIEMBRE DE 2018

Agradecimientos

Este trabajo representa el término de mi etapa universitaria, que puedo resumir en años de mucho estudio, esfuerzo, varias frustraciones y desilusiones, pero por sobre todo momentos de satisfacción y de demostrarme a mí misma que soy capaz de esto y mucho más.

Gracias infinitas a todas las personas que hicieron esto posible...

Gracias a mi familia, especialmente a mis padres y hermana, por ser un apoyo incondicional...por creer siempre en mí y alentarme a seguir en momentos que pensé que no podía más.

Gracias a mis amigos sansanos, porque sin su apoyo y compañerismo no estaría donde estoy ahora.

Gracias a mis profesores del colegio, que me formaron con cariño y disciplina para enfrentar esta etapa.

Gracias a la USM y a mi profesor guía por darme las herramientas y conocimientos para concretar este proyecto.

Gracias a la Fundación Legado Chile por creer en este trabajo y darme la oportunidad de llevarlo a cabo, me inspira la pasión que los mueve a trabajar por mi ciudad de Llanquihue.

Gracias a Dios, por brindarme tranquilidad, salud y estabilidad en los momentos difíciles, y por bendecirme todos los días con tantas cosas buenas.

Si bien este logro tiene mi autoría...es de todos ustedes, gracias de todo corazón.

Resumen Ejecutivo

En el presente trabajo de memoria de título se trabaja sobre el caso de estudio de medidas de eficiencia energética en viviendas sociales que busquen disminuir la emisión de CO₂ a la atmósfera proveniente de la combustión de leña para calefacción domiciliaria. La investigación se realiza en la ciudad de Llanquihue, Chile, ubicada en la décima región de Los Lagos. Se escoge esta localidad debido al problema actual de contaminación en los meses de invierno producto de la mala calidad del aire generado por las emanaciones de las estufas a leña, las cuales son la principal fuente de calefacción domiciliaria. El trabajo se enmarca dentro de un proceso colaborativo con la Fundación Legado Chile, organización sin fines de lucro dedicada a la conservación del patrimonio natural y medioambiente. Mediante un diagnóstico realizado en la ciudad surge un Plan de Acción Medioambiental, el cual dentro de su cadena de resultados tiene como potencial objetivo detener la destrucción de los humedales, específicamente de la ribera del río Maullín, disminuyendo la extracción ilegal de leña desde predios aledaños al río. Esta actividad clandestina produce leña para calefacción domiciliaria con alto porcentaje de humedad ya que no cuenta con acopios adecuados para el secado, ni con un plan de manejo de reforestación para contrarrestar el daño al ecosistema. En consecuencia, la combustión de esta biomasa genera un mayor grado de contaminantes a la atmósfera, debido principalmente a la combustión incompleta que genera material particulado, CO₂ y otros agentes contaminantes.

El estudio se realiza sobre 952 viviendas sociales, homologables en infraestructura y se dividen en 11 tipologías según el metraje total. Se definen siete medidas de eficiencia energética que buscan mejorar la aislación de las viviendas para mantener la temperatura de confort interna con un menor gasto energético en calefacción. De las siete medidas, 5 corresponden a intervención en muros, a saber:

- Medida 1: aumentar aislación
- Medida 2: cambiar envolvente
- Medida 3: aumentar envolvente
- Medida 4: aumentar aislación y cambiar envolvente
- Medida 5: aumentar aislación y envolvente

Las otras dos medidas restantes corresponden a: recambio de ventanas de vidrio simple por vidrio termopanel, y recambio de estufa a leña por estufa a pellet certificada.

Por otro lado, se realiza una revisión de subsidios, fondos concursables y otros programas de gobierno que puedan ser utilizados como modelos de financiamiento de la futura medida a escoger.

En primera instancia, se calcula el coeficiente de transmitancia térmica para muros, ventanas y techo, tanto para el caso base como para las medidas propuestas. Se busca identificar las medidas que disminuyan el coeficiente de transmitancia térmica, es decir, que aumenten la resistencia de los muros y ventanas al paso del calor, para disminuir las pérdidas de calor a través de las paredes y vidrios. En esta fase se descarta la medida 2 como posible de ser implementada ya que el coeficiente de transmitancia térmica no mejora. Sin embargo, se realiza el modelamiento de los casos límite para tener una proyección de los indicadores. Asimismo, se modelan todas las medidas para el caso particular que las viviendas no cuenten con aislación, para visualizar el potencial mayor impacto que pudiesen tener.

Para evaluar cada medida y su contribución a la reducción de emisiones se utiliza el software de gestión de energía limpias RETScreen 4, en donde se ingresan parámetros como coeficientes de transmitancia térmica, temperaturas de confort, y superficie de las viviendas, entre otros. Luego de realizar el análisis para cada medida y para cada una de las 11 tipologías, se escoge la medida más conveniente según tres indicadores definidos: Relación Beneficio/Costo, Ahorro de Combustible y Ahorro de Emisiones.

Respecto a los resultados, la medida que presenta los mejores indicadores es la de Recambio de Calefactor, que genera ahorros en combustible de hasta \$250.000 anuales y un 31% de ahorro de emisiones dependiendo del tamaño de la vivienda, con la salvedad que la viabilidad financiera de la medida es altamente sensible al precio del pellet, lo cual podría generar inconvenientes en un futuro para los dueños de viviendas que implementen el recambio debido a que el precio del pellet se proyecta al alza por su demanda creciente.

Entre las medidas para muro, la medida 1: aumentar la aislación resulta la más conveniente ya que es de bajo costo y tiene un alto impacto en la mejora del coeficiente de transmitancia térmica, por lo que se recomienda orientar las políticas públicas relacionadas a la habitabilidad y calidad de vivienda hacia este ítem. Para verificar la importancia de la aislación, se realiza el modelamiento para el caso de que las viviendas no cuenten con un agente aislante, con lo que se confirma el mayor impacto de la medida.

Por último, en relación al recambio de vidrio simple por vidrio termopanel, este no resulta conveniente debido a su alto costo de implementación y al tamaño pequeño de las viviendas, lo que hace que la inversión y costos iniciales sean muy superiores a los beneficios en el corto plazo.

Índice General

Agradecimientos	2
Resumen Ejecutivo	3
Índice General	6
Índice de Tablas.....	13
Índice de Ilustraciones	15
Índice de Ecuaciones	15
1 Problema de Investigación	16
2 Objetivos	17
2.1 Objetivo General	17
2.2 Objetivos Específicos.....	17
2.3 Alcance	18
3 Contexto	19
3.1 Fundación Legado Chile	19
3.2 Llanquihue.....	20
4 Antecedentes	21
4.1 Contaminación ambiental	21
4.2 Contaminación en las urbes	22
4.3 Contaminación en la población.....	24
4.3.1 Contaminación en Chile	25
4.3.1.1 Contaminación en Llanquihue.....	26
4.3.2 Medidas frente a la contaminación	30
4.3.2.1 Medidas frente a la contaminación en el mundo	30
4.3.2.1.1 Protocolo de Kioto	30
4.3.2.1.2 Bonos de Carbono	31
4.3.2.2 Medidas frente a la contaminación en Chile.....	32
4.3.2.2.1 Norma Primaria de Calidad Ambiental	32
4.3.2.2.2 Planes de Descontaminación	32
4.3.2.2.3 Calefacción limpia y Aislación Térmica	33
4.3.2.2.4 Incentivo a medios de transporte sustentables.....	34
4.3.2.2.5 Norma de Emisión de Material Particulado para Calefactores.....	34
4.4 Calefacción domiciliaria	36

4.4.3	Tecnologías para calefacción en Chile.....	36
4.4.3.1	Gas Licuado	36
4.4.3.2	Parafina	36
4.4.3.3	Pellet.....	36
4.4.3.4	Leña	36
4.4.3.5	Gas Natural.....	37
4.4.3.6	Eléctricos	37
4.4.3.6	Aire Acondicionado	37
4.5	Aislación Térmica de una vivienda en Chile	38
4.5.1	Reglamentación Térmica.....	38
4.5.2	Reacondicionamiento térmico: Caso aplicado en Concepción	39
4.6	Subsidios y fondos concursables para mejorar eficiencia energética en la vivienda	41
4.6.1	Aislación Térmica (no vigente)	41
4.6.2	Programa Recambio de Calefactores	42
4.6.3	Programa Más Leña Seca	43
4.6.4	Compra Asociativa de Leña	44
4.6.5	Mejoramiento de Vivienda.....	44
5	Marco Teórico	46
5.1	Eficiencia Energética	46
5.2	Aislación Térmica	46
5.3	Modelamiento de Medidas de Eficiencia Energética.....	46
5.3.1	Herramienta de Modelamiento: software RETScreen	47
6	Desarrollo.....	48
6.1	Caso de Estudio: Vivienda Social en Llanquihue	48
6.1.1	Descripción de las viviendas.....	48
6.1.1.1	Infraestructura general	49
6.1.1.2	Descripción de tipologías de vivienda	50
6.1.1.2.1	Tipología 1.....	51
6.1.1.2.2	Tipología 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11.....	51
6.1.2	Descripción de la población	52
6.1.2.1	Segmentación socio-económica.....	52
6.1.2.2	Consumo de leña.....	52

6.1.3	Descripción del conjunto de medidas de eficiencia energética propuestas.....	53
6.1.3.1	Mejoramiento de Envoltente Térmica.....	53
6.1.3.1.1	Medida 1: Aumentar aislación de poliestireno expandido en muros.....	53
6.1.3.1.2	Medida 2: Cambiar envoltente.....	53
6.1.3.1.3	Medida 3: Aumentar envoltente.....	53
6.1.3.1.4	Medida 4: Aumentar aislación y cambiar envoltente.....	54
6.1.3.1.5	Medida 5: Aumentar aislación y envoltente.....	54
6.1.3.2	Mejoramiento de Ventanas.....	54
6.1.3.2.1	Cambio de ventanas de vidrio simple por termopanel.....	54
6.1.3.3	Mejoramiento del Sistema de Calefacción.....	54
6.1.3.3.1	Cambio de calefactor por estufa a pellet.....	54
6.2	Descripción del modelamiento en RETScreen.....	56
6.2.1	Descripción General.....	56
6.3	Cálculo de Parámetros.....	57
6.3.1	Coefficiente de transmitancia térmica caso base.....	58
6.3.1.1	Muros.....	58
6.3.1.1.1	U base para muros con 40 [mm] de aislación.....	58
6.3.1.1.2	U base para muros con 50 [mm] de aislación.....	59
6.3.1.2	Techo.....	59
6.3.1.2.1	U base para techo.....	59
6.3.1.3	Ventanas.....	60
6.3.1.3.1	U base para ventanas.....	60
6.3.2	U para medidas propuestas.....	60
6.3.2.1	Medidas Propuestas para Muros.....	60
6.3.2.1.1	U para medida 1: aumentar espesor de aislación.....	60
6.3.2.1.2	U para medida 2: cambiar envoltente.....	61
6.3.2.1.3	U para medida 3: aumentar envoltente.....	63
6.3.2.1.4	U para medida 4: aumentar aislación y cambiar envoltente.....	64
6.3.2.1.5	U para medida 5: aumentar aislación y envoltente.....	65
6.3.2.2	Medidas Propuestas para Ventanas.....	66
6.3.2.2.1	U para medida 6: cambiar vidrio simple.....	66
6.4	Costo de Medidas Propuestas.....	67

6.4.1	Costos de Mano de Obra.....	67
6.4.2	Costos de Materiales.....	68
6.4.2.1	Costo envolvente.....	68
6.4.2.2	Costo ventana.....	68
6.4.3	Costo Recambio de Calefactor	68
6.5	Casos Particulares	68
6.5.1	Casos límite para medida 2	68
6.5.2	Viviendas sin aislación.....	69
6.6	Resultados del Modelamiento	72
6.6.1	Resultados Tipología 1	73
6.6.1.1	Consumo base, tipología 1	73
6.6.1.2	Resultados Medida 1, tipología 1.....	74
6.6.1.2.1	Consumo, costo y ahorro anual de combustible, Medida 1, tipología 1	74
6.6.1.2.2	Análisis de emisiones, Medida 1, tipología 1	74
6.6.1.2.3	Análisis Financiero, Medida 1, tipología 1	75
6.6.2	Resultados Tipología 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	76
6.6.3	Indicadores de decisión.....	77
6.6.3.1	Relación Beneficio / Costo	77
6.6.3.2	Ahorro de Combustible	80
6.6.3.3	Ahorro de Emisiones	82
6.6.4	Resultados Casos Particulares.....	85
6.6.4.1	Resultados medida 2	85
6.6.4.2	Resultados Viviendas sin aislación	86
6.6.5	Resultados Sensibilización Precio del Pellet.....	88
7	Conclusiones.....	89
7.1	Mejor medida según indicadores.....	89
7.2	Conclusiones medida 2.....	91
7.3	Conclusiones para vivienda sin aislación y herramienta de diagnostico	92
7.4	Conclusión General y Recomendaciones	93
8	Anexos	94
8.1	Anexo 1: Descripción tipologías de vivienda.....	94
8.1.1	Tipología 2	94

8.1.2	Tipología 3	95
8.1.3	Tipología 4	95
8.1.4	Tipología 5	96
8.1.5	Tipología 6	96
8.1.6	Tipología 7	97
8.1.7	Tipología 8	97
8.1.8	Tipología 9	98
8.1.9	Tipología 10	98
8.1.10	Tipología 11	99
8.2	Anexo 2: Descripción del Modelamiento en RETScreen	100
8.2.1	Modelo de Energía	100
8.2.1.1	Combustibles y horarios.....	100
8.2.1.2	Características de la instalación	102
8.2.1.2.1	Sistema de Calefacción.....	102
8.2.1.2.2	Cobertura de edificios	103
8.2.2	Análisis de Emisiones	104
8.2.3	Análisis Financiero.....	105
8.2.4	Herramientas.....	106
8.3	Anexo 3: Costo Total por tipología.....	108
8.3.1	Costos Tipología 1	108
8.3.1.1	Costo medida 1 para muro, tipología 1.....	108
8.3.1.2	Costo medida 3 para muro, tipología 1.....	109
8.3.1.3	Costo medida 4 para muro, tipología 1.....	109
8.3.1.4	Costo medida 5 para muro, tipología 1.....	110
8.3.1.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 1	110
8.3.2	Costos Tipología 2	111
8.3.2.1	Costo medida 1 para muro, tipología 2.....	111
8.3.2.2	Costo medida 3 para muro, tipología 2.....	111
8.3.2.3	Costo medida 4 para muro, tipología 2.....	112
8.3.2.4	Costo medida 5 para muro, tipología 2.....	112
8.3.2.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 2	112
8.3.3	Costos Tipología 3	113

8.3.3.1	Costo medida 1 para muro, tipología 3.....	113
8.3.3.2	Costo medida 3 para muro, tipología 3.....	113
8.3.3.3	Costo medida 4 para muro, tipología 3.....	114
8.3.3.4	Costo medida 5 para muro, tipología 3.....	114
8.3.3.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 3	114
8.3.4	Costos Tipología 4	115
8.3.4.1	Costo medida 1 para muro, tipología 4.....	115
8.3.4.2	Costo medida 3 para muro, tipología 4.....	115
8.3.4.3	Costo medida 4 para muro, tipología 4.....	116
8.3.4.4	Costo medida 5 para muro, tipología 4.....	116
8.3.4.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 4	116
8.3.5	Costos Tipología 5	117
8.3.5.1	Costo medida 1 para muro, tipología 5.....	117
8.3.5.2	Costo medida 3 para muro, tipología 5.....	117
8.3.5.3	Costo medida 4 para muro, tipología 5.....	118
8.3.5.4	Costo medida 5 para muro, tipología 5.....	118
8.3.5.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 5	118
8.3.6	Costos Tipología 6	119
8.3.6.1	Costo medida 1 para muro, tipología 6.....	119
8.3.6.2	Costo medida 3 para muro, tipología 6.....	119
8.3.6.3	Costo medida 4 para muro, tipología 6.....	120
8.3.6.4	Costo medida 5 para muro, tipología 6.....	120
8.3.6.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 6	120
8.3.7	Costos Tipología 7	121
8.3.7.1	Costo medida 1 para muro, tipología 7.....	121
8.3.7.2	Costo medida 3 para muro, tipología 7.....	121
8.3.7.3	Costo medida 4 para muro, tipología 7.....	122
8.3.7.4	Costo medida 5 para muro, tipología 7.....	122
8.3.7.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 7	122
8.3.8	Costos Tipología 8	123
8.3.8.1	Costo medida 1 para muro, tipología 8.....	123
8.3.8.2	Costo medida 3 para muro, tipología 8.....	123

8.3.8.3	Costo medida 4 para muro, tipología 8.....	124
8.3.8.4	Costo medida 5 para muro, tipología 8.....	124
8.3.8.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 8	124
8.3.9	Costos Tipología 9	125
8.3.9.1	Costo medida 1 para muro, tipología 9.....	125
8.3.9.2	Costo medida 3 para muro, tipología 9.....	125
8.3.9.3	Costo medida 4 para muro, tipología 9.....	126
8.3.9.4	Costo medida 5 para muro, tipología 9.....	126
8.3.9.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 9	126
8.3.10	Costo Tipología 10.....	127
8.3.10.1	Costo medida 1 para muro, tipología 10.....	127
8.3.10.2	Costo medida 3 para muro, tipología 10.....	127
8.3.10.3	Costo medida 4 para muro, tipología 10.....	128
8.3.10.4	Costo medida 5 para muro, tipología 10.....	128
8.3.10.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 10	128
8.3.11	Costos Tipología 11	129
8.3.11.1	Costo medida 1 para muro, tipología 11.....	129
8.3.11.2	Costo medida 3 para muro, tipología 11.....	129
8.3.11.3	Costo medida 4 para muro, tipología 11.....	130
8.3.11.4	Costo medida 5 para muro, tipología 11.....	130
8.3.11.5	Costo medida 6 para ventana, tipología 11	130
8.4	Anexo 4: Resultados consolidados de todas las tipologías	131
8.4.1	Consumo y ahorro anual de combustible consolidado.....	131
8.4.2	Análisis de emisiones consolidado	132
8.4.3	Análisis financiero consolidado	132
8.4.3.1	Tasa interna de retorno TIR.....	132
8.4.3.2	Valor actual neto VAN	133
8.4.3.3	Payback.....	133
9	Referencias.....	134

Índice de Tablas

Tabla 1: Resumen Episodios Ambientales Puerto Montt.....	29
Tabla 2: Norma Emisión de MP para calefactores	35
Tabla 3: Viviendas objetivo	48
Tabla 4: Infraestructura viviendas.....	49
Tabla 5: Tipologías de viviendas.....	50
Tabla 6: Descripción Tipología 1.....	51
Tabla 7: Consumo de leña, X región.....	52
Tabla 8: Consumo de leña sector C3, X región.....	52
Tabla 9: Estructura muro 40 [mm] de aislación	58
Tabla 10: Estructura muro 50 [mm] de aislación	59
Tabla 11: Estructura de muro, medida 1.....	61
Tabla 12: Estructura de muro 40 [mm], medida 2	62
Tabla 13: Estructura de muro 50 [mm], medida 2	62
Tabla 14: Estructura de muro 40 [mm], medida 3	63
Tabla 15: Estructura de muro 50 [mm], medida 3	63
Tabla 16: Estructura de muro, medida 4.....	64
Tabla 17: Estructura de muro, medida 5.....	65
Tabla 18: Estructura de muro sin aislación	70
Tabla 19: Resumen U para tipologías 1,3 y 7 sin aislación.....	70
Tabla 20: Resumen U para tipologías 2,4,5,6,8,9,10 y 11 sin aislación.....	71
Tabla 21: Resumen U para tipologías 1,3 y 7	72
Tabla 22: Resumen U para tipologías 2,4,5,6,8,9,10 y 11	72
Tabla 23: Resumen Indicador: Relación Beneficio/Costo	77
Tabla 24: Porcentaje de superficie de ventanas	78
Tabla 25: Resumen Indicador: Ahorro de Combustible [MWh].....	80
Tabla 26: Resumen Indicador: Ahorro de Combustible [\$/año]	81
Tabla 27: Resumen Indicador: Ahorro Emisiones [ton CO ₂ /año]	82
Tabla 28: Resumen Indicador: Ahorro Emisiones [%]	83
Tabla 29: Resumen Indicadores medida 2	85
Tabla 30: Resumen Indicador: Relación Beneficio/Costo sin aislación.....	86
Tabla 31: Gasto Combustible viviendas sin aislación	87
Tabla 32: Descripción Tipología 2.....	94
Tabla 33: Descripción Tipología 3.....	95
Tabla 34: Descripción Tipología 4.....	95
Tabla 35: Descripción Tipología 5.....	96
Tabla 36: Descripción Tipología 6.....	96
Tabla 37: Descripción Tipología 7.....	97
Tabla 38: Descripción Tipología 8.....	97
Tabla 39: Descripción Tipología 9.....	98
Tabla 40: Descripción Tipología 10.....	98
Tabla 41: Descripción Tipología 11.....	99

Tabla 42: Precio de Combustibles	100
Tabla 43: Temperatura de Confort.....	100
Tabla 44: Costo medida 1, tipología 1	108
Tabla 45: Costo medida 3, tipología 1	109
Tabla 46: Costo medida 4, tipología 1	109
Tabla 47: Costo medida 5, tipología 1	110
Tabla 48: Costo medida 1, tipología 2	111
Tabla 49: Costo medida 3, tipología 2	111
Tabla 50: Costo medida 4, tipología 2	112
Tabla 51: Costo medida 5, tipología 2	112
Tabla 52: Costo medida 1, tipología 3	113
Tabla 53: Costo medida 3, tipología 3	113
Tabla 54: Costo medida 4, tipología 3	114
Tabla 55: Costo medida 5, tipología 3	114
Tabla 56: Costo medida 1, tipología 4	115
Tabla 57: Costo medida 3, tipología 4	115
Tabla 58: Costo medida 4, tipología 4	116
Tabla 59: Costo medida 5, tipología 4	116
Tabla 60: Costo medida 1, tipología 5	117
Tabla 61: Costo medida 3, tipología 5	117
Tabla 62: Costo medida 4, tipología 5	118
Tabla 63: Costo medida 5, tipología 5	118
Tabla 64: Costo medida 1, tipología 6	119
Tabla 65: Costo medida 3, tipología 6	119
Tabla 66: Costo medida 4, tipología 6	120
Tabla 67: Costo medida 5, tipología 6	120
Tabla 68: Costo medida 1, tipología 7	121
Tabla 69: Costo medida 3, tipología 7	121
Tabla 70: Costo medida 4, tipología 7	122
Tabla 71: Costo medida 5, tipología 7	122
Tabla 72: Costo medida 1, tipología 8	123
Tabla 73: Costo medida 3, tipología 8	123
Tabla 74: Costo medida 4, tipología 8	124
Tabla 75: Costo medida 5, tipología 8	124
Tabla 76: Costo medida 1, tipología 9	125
Tabla 77: Costo medida 3, tipología 9	125
Tabla 78: Costo medida 4, tipología 9	126
Tabla 79: Costo medida 5, tipología 9	126
Tabla 80: Costo medida 1, tipología 10	127
Tabla 81: Costo medida 3, tipología 10	127
Tabla 82: Costo medida 4, tipología 10	128
Tabla 83: Costo medida 5, tipología 10	128

Tabla 84: Costo medida 1, tipología 11.....	129
Tabla 85: Costo medida 3, tipología 11.....	129
Tabla 86: Costo medida 4, tipología 11.....	130
Tabla 87: Costo medida 5, tipología 11.....	130
Tabla 88: Consumo de Combustible	131
Tabla 89: Ahorro de Combustible	131
Tabla 90: Ahorro de Emisiones	132
Tabla 91: TIR.....	132
Tabla 92: VAN.....	133
Tabla 93: Payback.....	133

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: MP 2.5 promedio mensual Estación Alerce	27
Ilustración 2: MP 2.5 promedio mensual Estación Mirasol	27
Ilustración 3: MP 2.5 registro diario Estación Mirasol	28
Ilustración 4: Ubicación viviendas.....	49
Ilustración 5: Creación Proyecto en RETScreen	56
Ilustración 6: Estructura de pared.....	57
Ilustración 7: Consumo base, tipología 1 RETScreen	73
Ilustración 8: Consumo medida 1, tipología 1 RETScreen.....	74
Ilustración 9: Ahorro Emisiones, medida 1, tipología 1 RETScreen	74
Ilustración 10: Viabilidad Financiera medida 1, tipología 1 RETScreen	75
Ilustración 11: Calefactor, Gráfica Indicador: Relación Beneficio/Costo	78
Ilustración 12: Calefactor, Gráfica Indicador: Ahorro de Combustible	81
Ilustración 13: Calefactor, Gráfica Indicador: Ahorro de Emisiones	84
Ilustración 14: Resultados Sensibilización precio del pellet.....	88
Ilustración 15: Horario Uso de Calefacción	101
Ilustración 16: Sistema de Calefacción.....	102
Ilustración 17: Cobertura de Edificios	103
Ilustración 18: Análisis de Emisiones	104
Ilustración 19: Análisis Financiero.....	105
Ilustración 20: Viabilidad Financiera	106
Ilustración 21: Poder calorífico y precio del combustible.....	106
Ilustración 22: Combustible definido por usuario.....	107

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Coeficiente de Transmitancia Térmica	57
--------------------------------------------------------	----

1 Problema de Investigación

La extracción de leña como actividad comercial ha existido por años en la región de Los Lagos, pero en el último tiempo la demanda creciente del recurso, debido al crecimiento de la población, ha generado la aparición de leñadores ilegales quienes talan indiscriminadamente y sin ningún plan de manejo en sectores rurales y predios al interior de la ribera del río Maullín (Grabelferg Noticias, 2018).

La población de la comuna de Llanquihue, ha tenido un aumento sostenible en el tiempo; entre 2002 y 2017 el crecimiento de la población fue de 1250 habitantes aproximadamente (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015). Esto trae consigo mayor demanda de viviendas y por ende mayor demanda de los servicios básicos, alimentación, ocio y otros. Dadas las condiciones climatológicas de la zona, se hace imperativo para los habitantes contar con un sistema de calefacción de la vivienda, y uno de los modos de calefacción domiciliaria más utilizados en la zona sur de Chile es la combustión de biomasa, específicamente de leña, la que además es usada para la cocción de alimentos.

La leña proveniente de la tala ilegal no es la óptima para la combustión, generalmente presenta un alto nivel de humedad que se traduce en alta emanación de contaminantes en la primera fase de ignición; material particulado, CO, CO₂, etc. Por otro lado, la venta se realiza fuera del comercio formal por lo que su precio es inferior al del comercio establecido. Considerando que la gran mayoría de los habitantes dentro de la zona urbana de Llanquihue utiliza como medio de calefacción la combustión de leña (Centro de Desarrollo Tecnológico, 2015) es necesario buscar alternativas para reducir la demanda domiciliaria de leña y de esta forma reducir la actividad ilegal de extracción que puede contribuir a mejorar los niveles de calidad del aire y de los ecosistemas aledaños al río.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Realizar un estudio de mejoramiento de viviendas sociales y proponer un modelo de financiamiento para su implementación, a través del modelamiento de medidas de eficiencia energética que ayuden a reducir el consumo de leña para calefacción domiciliaria.

2.2 Objetivos Específicos

- Investigar acerca de subsidios y/o fondos concursables que sean susceptibles de postular por parte de los propietarios de las viviendas.
- Analizar la implementación de medidas de eficiencia energética en viviendas sociales construidas alrededor del humedal El Loto y humedal Baquedano a través de modelamiento en software RetScreen 4, para definir las medidas óptimas a implementar.
- Proponer un modelo de financiamiento para la futura implementación de medidas a través de la revisión de subsidios y fondos concursables

2.3 Alcance

El proyecto contempla como principales actores a los dueños y habitantes de las viviendas objetivo situadas en la comuna de Llanquihue, ya que se verán directamente beneficiados por la implementación de las medidas de eficiencia energética: aumento de la temperatura de confort al interior de las viviendas, mejor aislación térmica y un menor uso y/o costo en dinero del combustible utilizado para calefacción doméstica.

A nivel medioambiental, se busca generar impacto a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente CO₂, producidas por la combustión de leña de los calefactores domésticos, lo que conlleva a la mejora de la calidad del aire de los habitantes de la comuna y del sector.

Finalmente, se busca impactar positivamente en la administración pública, ya sea a nivel gubernamental, regional o local, mostrando en que ámbitos deberían estar enfocadas las políticas públicas que busquen mejorar la calidad de vida y vivienda de los ciudadanos.

3 Contexto

3.1 Fundación Legado Chile

Legado Chile es creada por un grupo de jóvenes con un interés común: buscar alternativas para conservar el medioambiente.

De esta manera conforman una organización sin fines de lucro integrada por un equipo multidisciplinario de profesionales; arquitectos, agrónomos, biólogos e ingenieros, entre otros, para crear, gestionar y articular proyectos de conservación del patrimonio natural para contribuir al desarrollo sostenible del país, con base en cuatro ejes fundamentales: educación ambiental, desarrollo local, conservación in situ y trabajo colaborativo entre investigadores, instituciones gubernamentales y comunidades locales.

La fundación utiliza metodologías para la gestión de proyectos de conservación, para que en un futuro Chile pueda llegar a ser un país donde la naturaleza prospera, integrada a una sociedad que la comprende, valora y se sustenta en ella.

Legado Chile llega a la ciudad de Llanquihue en la región de Los Lagos, por una denuncia de contaminación en el humedal El Loto, y desde ese entonces se asentaron en la zona. En primer lugar, establecieron objetivos en conjunto con una cadena de resultados de 7 puntos. En relación a esto, se estableció el programa “*Llanquihue, ciudad de humedales*” cuyo objetivo fue contribuir a la conservación participativa de los ecosistemas urbanos de la ciudad a través de la implementación de un Plan de Acción Medioambiental¹ con cuatro líneas de acción: educación ambiental, apropiación social, planificación territorial y ecología, monitoreo e investigación de los siete objetos de conservación establecidos dentro de la comuna: Humedal El Loto, Humedal Los Helechos, Humedal Baquedano, Humedal Las Ranas, Estero El Sarao, Ribera del lago Llanquihue Y Ribera del río Maullín.

Respecto de la segunda línea de acción, apropiación social, se encuentran adosadas 3 cadenas de resultados: sensibilización y valoración de objetos de conservación, apropiación del río Maullín, y emprendimiento y prácticas económicas sostenibles (Fundación Legado

¹ Plan de acción medioambiental: herramienta para el diagnóstico, planificación y gestión participativa de ecosistemas en contextos urbanos.

Chile, 2017). Para esta última cadena de resultado se definieron a modo de estrategia la reducción del consumo de leña y el mejoramiento de eficiencia energética domiciliar para disminuir la amenaza de tala ilegal de leña en la ribera del río Maullín. Es en este contexto en el cual se enmarca la investigación de la presente memoria.

3.2 Llanquihue

Llanquihue es una ciudad y comuna ubicada en la décima región de Los Lagos, zona sur de Chile, en la ribera del lago del mismo nombre, a 27 Km de la capital regional Puerto Montt.

El poblado fue fundado alrededor del año 1850 por los colonos alemanes que se asentaron en la zona. Luego en el 1907 la llegada del ferrocarril y la construcción de la estación Llanquihue hicieron surgir a sus habitantes, quienes desde sus inicios se dedicaron a la agricultura, gracias a la abundante vegetación existente y a las fuentes naturales de agua. Fue hasta el año 1968 en donde finalmente se crea la comuna de Llanquihue y deja de estar subordinada a la comuna de Puerto Varas (Del Río, 2008).

Actualmente, su economía se basa en la actividad agrícola, ganadera e industrial, donde destacan plantas de procesamiento de lácteos, cecinas, moluscos y agar-agar.

La ciudad de Llanquihue tiene 17.591 habitantes y cuenta con una densidad poblacional de 41,78 habitantes por km² (INE, 2017). Respecto a su geografía, se ubica dentro de la clasificación de bosque templado lluvioso (TECKLIN, 2011) y tiene un complejo sistema hídrico interconectado, cuyos componentes son la ribera del lago Llanquihue, el nacimiento del río Maullín y humedales urbanos con conexión superficial y subterránea. Estos ecosistemas albergan alrededor de 70 especies de aves, 100 especies de plantas y 20 especies de peces nativos, además es lugar de transición y anidación del 50% del total de aves migratorias de Chile.

4 Antecedentes

4.1 Contaminación ambiental

Actualmente el fenómeno de contaminación ambiental se encuentra presente alrededor de todo el mundo. La mala calidad del aire es una característica común a la mayoría de las ciudades, sean desarrolladas o en vías de desarrollo, producida por diversos factores: combustión incompleta, industrias, parque vehicular, calefacción de biomasa, entre otros. Por contaminación se entiende cualquier modificación indeseable del ambiente, la cual es causada por agentes físicos, químicos o biológicos en cantidades superiores a las naturales, que resulta nociva para la salud humana, daña los recursos naturales o altera el equilibrio ecológico (Romero, 2006).

Sin embargo, de estos factores contaminantes existen algunos potencialmente más perjudiciales que otros, dada la naturaleza de las emisiones que liberan al medioambiente. La quema de combustibles fósiles, constituye el 95% del total de la energía utilizada a nivel mundial, y es también la principal fuente de emisiones contaminantes a la atmósfera (Solís y López, 2003).

El problema de contaminación es transversal a todos los países del globo, ya que sin importar la cuantía de sus emisiones, las fronteras geográficas no pueden resguardarlos de la contaminación; las emisiones de cada país contribuyen a la contaminación común para todo el mundo, ya que el aire no puede diferenciarse. Esto ha provocado que los países en vías de desarrollo sean los principales emisores de contaminantes ya que necesitan de muchos procesos para crecer industrial o económicamente y es ahí donde está puesto el foco internacional para reducir emisiones. Sin embargo, los países actualmente desarrollados que se reconocen como potencias mundiales ya contaminaron en su pasado “país en vías de desarrollo” e igualmente contribuyeron a la situación ambiental de hoy.

4.2 Contaminación en las urbes

El origen de la contaminación de los centros urbanos está en el inicio de la actividad industrial masiva, marcada por el periodo de la Revolución Industrial en Inglaterra (Cantú, 1992). Para la época, el invento de las máquinas a vapor y otros artefactos industriales fueron vistos como un excelente adelanto que permitiría a los países crecer como nunca lo habían hecho y que traería en consecuencia mayor crecimiento económico, elevando la calidad de vida de los habitantes. Sin embargo, nadie imaginó las consecuencias que traería siglos más tarde el uso indiscriminado de recursos naturales y la emisión descontrolada de agentes contaminantes generados por procesos productivos. Por lo mismo, Inglaterra, específicamente Londres, llegó a ser la ciudad más contaminada en una época posterior.

Con el pasar de los años, la tendencia demográfica de los habitantes de todo el mundo, que se mantiene hasta la actualidad, ha sido la de emigrar del campo a la ciudad, buscando más y mejores oportunidades laborales y de desarrollo familiar, educativo y profesional. Este comportamiento no solo se da en las grandes urbes o capitales de los países, sino que en todas las ciudades por igual, en sus respectivas proporciones. Lo anterior, si bien permite mayor desarrollo de la población, implica una demanda creciente en viviendas urbanas, alimentación, transporte, consumo energético, calefacción, etc. Para cubrir dichas demandas, se deben emplear en mayor cantidad recursos principalmente en el ámbito energético y de combustibles.

Otro fenómeno que se ha desarrollado a la par con la contaminación es el de “isla térmica” en donde las actividades antropogénicas sumado a las características geográficas de la zona, modifican la temperatura ambiental dentro de la ciudad, creando un microclima que no permite la ventilación natural, produciendo en consecuencia la contaminación producto del aire enrarecido que no puede movilizarse. (Celis, Morales, Zaror y Carvacho, 2007). Esta situación es común en ciudades como Santiago, Coyhaique y Temuco hace más de 15 años, lo preocupante es que esto se ha replicado en nuevas urbes. Ciudades intermedias como Chillán, Los Ángeles, Concepción e incluso Osorno y Puerto Montt han comenzado a ser diagnosticadas con alertas ambientales durante los meses de invierno.

Un trabajo de investigadores mexicanos, muestra el alcance y el impacto de medidas de mitigación en tres ciudades de Latinoamérica: México, Sao Paulo y Santiago de Chile. Para estas tres urbes se midieron por separado las emisiones de material particulado, NOx, SOx, Ozono y otros gases de efecto invernadero y se estudió la correlación de cada uno con los niveles de contaminación de las ciudades. El estudio se llevó a cabo entre 1988 y 1995, con excepción de ciudad de México en la cual las mediciones se realizaron hasta 1997.

Luego de recabar la información y analizarla, la conclusión fue que medidas como restricción vehicular, control de emisiones industriales y de fuentes fijas, fugitivas y móviles descritas en los planes de descontaminación de cada localidad lograron reducir la contaminación, no obstante, los valores para cada ítem siguen sobrepasando la norma (Lacasaña-Navarro, Aguilar-Garduño y Romieu, 1999).

4.3 Contaminación en la población

La quema de leña que proviene de la combustión incompleta emite grandes cantidades de material particulado del tipo MP 2.5 y MP 10. El primero, posee tamaño suficiente para penetrar en los sacos alveolares de los pulmones, desencadenando episodios de insuficiencias respiratorias sobre todo en niños, adultos mayores y enfermos pulmonares crónicos. El segundo tipo de partículas poseen un diámetro mayor, por lo que no se incrustan a nivel tan profundo, no obstante, la exposición constante a este tipo de polución, que es también emitida por fuentes móviles en menor proporción, puede llegar a desencadenar problemas de salud complejos asociados al deterioro del sistema respiratorio en el largo plazo. En consecuencia, no es casualidad que durante los meses de invierno en donde el uso de la calefacción a leña es considerable, existan colapsos en los servicios de salud y urgencia, públicos y privados, ya que las bajas temperaturas combinados con la mala calidad del aire desencadenan cuadros respiratorios masivos (Ministerio de Medio Ambiente, 2011).

4.3.1 Contaminación en Chile

A grandes rasgos, la fuente de emisión crítica de MP 2.5 es la calefacción residencial o doméstica que utiliza combustión a leña, es por esto que en urbes altamente contaminadas como Santiago, su uso está directamente prohibido, y se estima que próximamente en ciudades con preemergencia y emergencia ambiental como Temuco, Coyhaique, Chillán, Los Ángeles e incluso Osorno, su uso tendrá que normarse o prohibirse por periodos. Cabe señalar que el sector residencial constituye el 98,48% del consumo de leña a nivel nacional (Centro de Desarrollo Tecnológico, 2015).

Con respecto a las declaraciones de episodios críticos, el factor que determina dichas decisiones por parte del Ministerio del Medio Ambiente es la mala calidad del aire. Las alertas se emiten cuando la concentración de material particulado MP 2.5 alcanza niveles del orden de concentración entre 80 y 109 microgramos por metro cúbico, considerando el promedio móvil de 24 horas de medición. Mientras que las preemergencias se emiten cuando la concentración se ubica entre 110 y 160 microgramos por metro cúbico de aire. La Emergencia como tal, se emite al sobrepasar este último valor. (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). El material particulado 2.5 corresponde a partículas lo suficientemente pequeñas para ingresar a las vías respiratorias y alojarse en los alveolos y está catalogado como una de las sustancias que potencialmente pueden desencadenar episodios cardiorrespiratorios en la población cuando las personas permanecen en un aire enrarecido por estas sustancias en el corto y largo plazo (Ministerio del Medio Ambiente, 2011).

En relación a la emisión de contaminantes, las fuentes de MP 2.5 se pueden dividir en 3: fijas, fugitivas y móviles. Las primeras corresponden a calefacción doméstica, quemas agrícolas, y combustión de calderas industriales principalmente. Las fuentes fugitivas provienen de edificios en construcción y pavimentaciones en curso que corresponden a polvo suspendido. Por último, las fuentes móviles son los vehículos en ruta; automóviles, camiones, motocicletas, y otros fuera de ruta como las maquinarias agrícolas o vehículos utilizados en labores portuarias y en aeropuertos. Cada una de estas fuentes, además del MP 2.5 genera otros contaminantes en menor proporción, que, aunque también contribuyen a la mala calidad del aire, no son simples de minimizar.

Uno de los focos de contaminación más abundantes en Chile es la proveniente de la calefacción de las viviendas, para lo cual se utiliza la combustión de leña. Este recurso, que hace muchos años se encontraba en abundancia desde la zona central hacia el sur, es la alternativa de calefacción masiva y de mayor uso debido a su costo, poder calorífico y fácil acceso. No obstante lo anterior, este proceso muy pocas veces se lleva a cabo de forma eficiente o realizando combustión completa por diversos factores tales como leña húmeda y mal tiraje de las estufas.

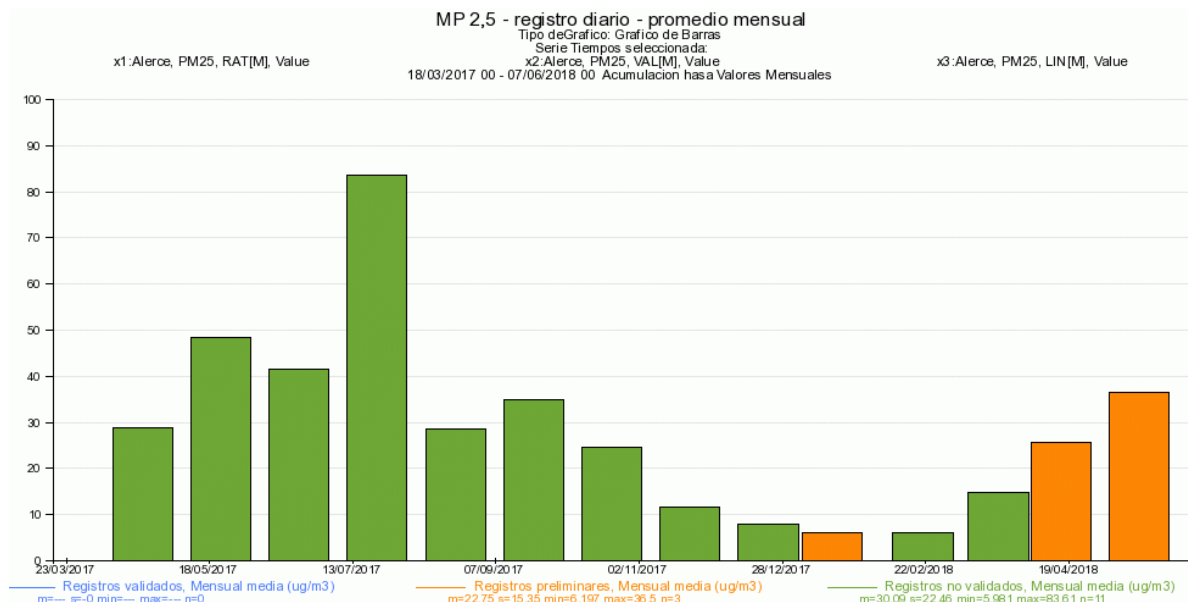
4.3.1.1 Contaminación en Llanquihue

Para la cuantificación de la emisión de contaminantes a la atmósfera en la comuna de Llanquihue, se utiliza la información proporcionada por el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire SINCA del Ministerio del Medio Ambiente, el cual cuenta con un portal en donde se encuentra la data histórica de las estaciones de monitoreo en todo el territorio nacional. Estas estaciones miden parámetros meteorológicos como humedad relativa, temperatura, dirección y velocidad del viento, y parámetros contaminantes tales como material particulado 2.5 y 10, SO₂, NO₂, CO y O₃.

Para el caso de Llanquihue, la estación de monitoreo más cercana es la estación Alerce, ubicada 22 Km hacia al sur y que cuenta con medición de material particulado 2.5

En la siguiente gráfica se muestra el promedio mensual del registro diario de mediciones de material particulado 2.5 en microgramos por metro cúbico, desde el 17-03-2017 hasta el 07-06-2018

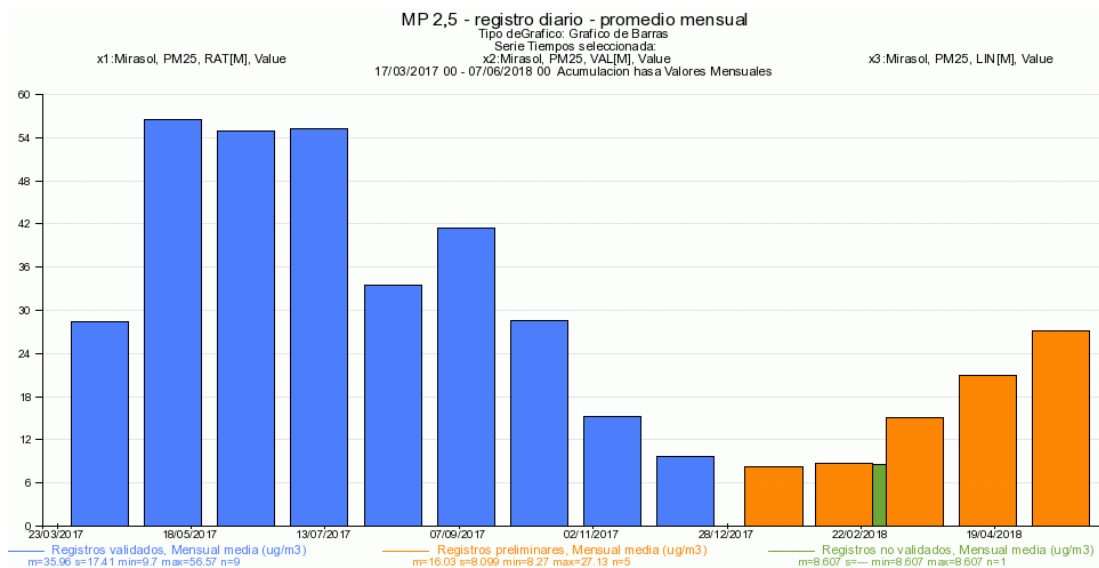
Ilustración 1: MP 2.5 promedio mensual Estación Alerce



Fuente: Estación Alerce SINCA

La misma gráfica se muestra para otra estación de monitoreo aledaña; estación Mirasol de la comuna de Puerto Montt, ubicada a 27 km de Llanquihue, para el mismo periodo de tiempo.

Ilustración 2: MP 2.5 promedio mensual Estación Mirasol

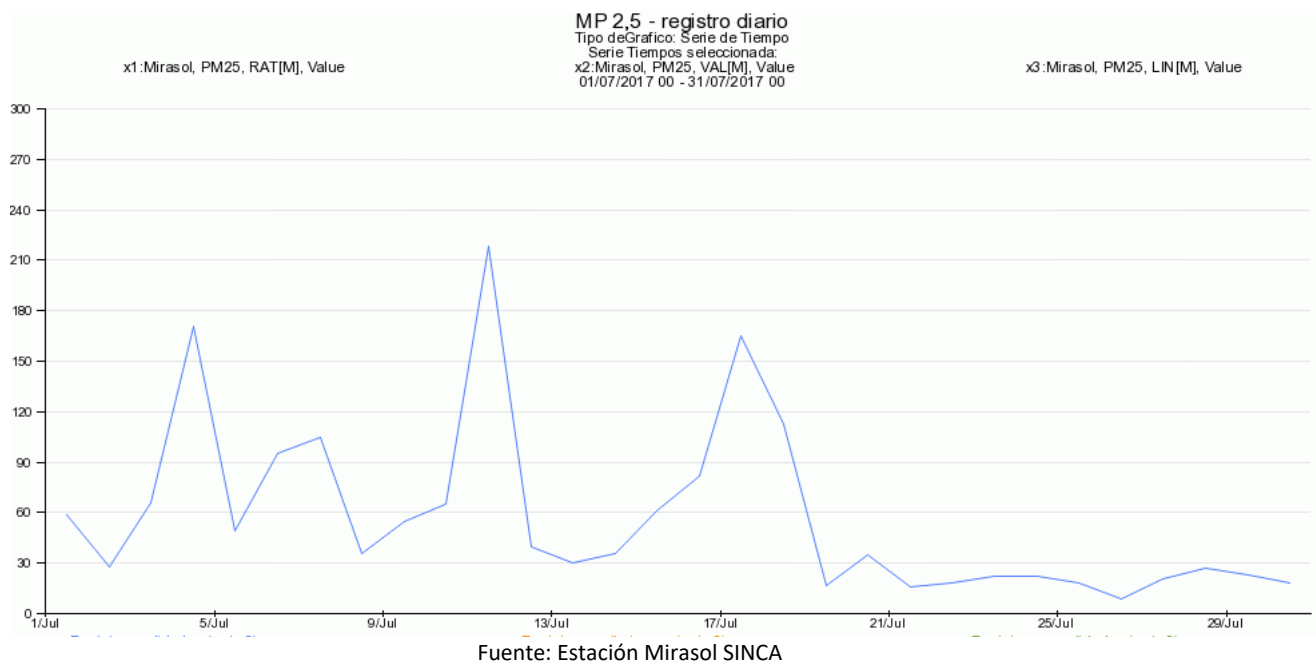


Fuente: Estación Mirasol SINCA

Para ambas estaciones se observa que durante invierno, específicamente en el mes de julio, el promedio mensual de los registros diario de la emisión de material particulado 2,5 supera los 50 microgramos por metro cúbico, es decir, la calidad del aire deja de ser buena y pasa a ser regular.

También se observan las mediciones diarias para la estación Mirasol durante el mes de julio de 2017 que concentra las temperaturas más bajas del año ² por ende en esta época se requiere de mayor utilización de la calefacción domiciliaria:

Ilustración 3: MP 2.5 registro diario Estación Mirasol



² En la base de datos del software RETScreen, la estación Puerto Montt / El Tepual, registra la menor temperatura en el mes de julio.

La información contenida en la gráfica da cuenta que a lo largo del mes de julio de 2017 los niveles de emisión de material particulado 2.5 en la mayoría de los días fueron regulares, es decir, hubo emisión de material particulado en el rango de 50 a 80 microgramos por metro cúbico, y también se registraron varios episodios de alerta, pre-emergencia y emergencia ambiental en la comuna de Puerto Montt.

Desde la base de datos históricos del SINCA, se cuantifican los episodios ambientales del mes de julio del año 2016 y 2017 respectivamente

Tabla 1: Resumen Episodios Ambientales Puerto Montt

EPISODIO	JULIO 2016	JULIO 2017
Bueno	21	18
Regular	5	5
Alerta	3	3
Preemergencia	0	1
Emergencia	0	3

Fuente: adaptado de data histórica Estación Mirasol, SINCA

Se observa que de un año a otro la cantidad de episodios regulares se mantiene, sin embargo los días con calidad de aire bueno disminuyen, y por otro lado aumentan los días decretados con preemergencia y emergencia ambiental, es decir, existe un aumento de la mala calidad del aire en relación a los niveles de material particulado 2.5.

4.3.2 Medidas frente a la contaminación

4.3.2.1 *Medidas frente a la contaminación en el mundo*

4.3.2.1.1 Protocolo de Kioto

A nivel mundial el tema de la emisión de contaminantes al ambiente es imperativo dados sus efectos perjudiciales en la salud de las personas y como contribución al efecto invernadero y al aumento de las temperaturas de la tierra. Por ello, en el año 1997 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC, elaboró el Protocolo de Kioto en conjunto con las naciones adscritas a este pacto. En él se definieron niveles tope de contaminación, y se calculó para cada país el porcentaje de reducción de emisiones necesario para un potencial cambio o mejora en la calidad del aire. Por otro lado, hubo países que ya contaban con prácticas de reducción de emisiones, por ende tuvieron el beneficio de aumentar sus emisiones: los países que debían reducir fueron EEUU, Canadá, Japón y la UE, mientras que los que tuvieron el permiso para emitir contaminantes fueron Noruega, Australia e Islandia (Centeno, 2016).

La meta era reducir en un 5.2% los niveles de contaminantes y gases de efecto invernadero con respecto a los registrados en 1990. La medición se hizo efectiva en el año 2012, la cual no tuvo el impacto que se esperaba, es más, la implementación del protocolo es considerado poco útil actualmente, y esta explicado en gran medida por el creciente aumento de la población, lo cual saca de las estimaciones preliminares los valores de referencia proyectados en un inicio. Además, sólo 30 países han ratificado su compromiso en seguir con el acuerdo en su segunda fase hasta 2020, de los cuales ninguno pertenece a países desarrollados, sino que en vías de desarrollo, entre ellos Chile. Lo anterior genera que se limite el desarrollo de los países que aún están trabajando para ello, a expensas del crecimiento de los ya desarrollados, que continúan contaminando con sus grandes procesos industriales.

4.3.2.1.2 Bonos de Carbono

Una de las Medidas de Desarrollo Limpio consideradas dentro del protocolo de Kioto son los bonos de carbono. Consisten en documentos cuya finalidad es reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera, que funcionan a través de incentivos monetarios para las empresas que cuenten con mecanismos de reducción de gases a la atmósfera o que aún no contaminen en niveles elevados. El incentivo monetario se materializa a través de la venta de créditos por parte de las empresas de países menos contaminantes a países industrializados que emiten niveles mucho mayores a través de sus procesos productivos de bienes, energía y otros (Lobos, Vallejos, Caroca y Marchant, 2005).

4.3.2.2 *Medidas frente a la contaminación en Chile*

4.3.2.2.1 Norma Primaria de Calidad Ambiental

En Chile, esta normativa fija límites máximos de emisión de contaminantes nocivos para la salud, principalmente material particulado, dióxidos de azufre y nitrógeno, ozono troposférico, monóxido de carbono y plomo (Ley 19300).

4.3.2.2.2 Planes de Descontaminación

Consiste en un conjunto de indicaciones a seguir para cada comuna o localidad saturada frente a alertas, preemergencias o emergencias ambientales.

Al 2014 existían 10 planes vigentes, 5 anteproyectos, 2 proyectos en etapa final y 2 zonas decretadas o en proceso. En el norte, 5 de los planes corresponden a las zonas mineras, otros 4 abarcan las regiones cuarta, quinta y metropolitana, y sólo 1 estaba en vigencia en la zona sur, específicamente en Temuco y Padre Las Casas.

De los datos recogidos desde los centros de monitoreo del MMA se observa que las ciudades que sobrepasan los promedios permitidos de MP2.5 y MP10 se encuentran principalmente en la zona sur: Temuco, Coyhaique, Osorno y Valdivia. (Ministerio del Medio Ambiente, 2014).

En el nuevo Plan de Descontaminación se incluyeron 6 nuevas zonas saturadas a tratar el 2018, a saber: Santiago, Curicó, Gran Concepción, Los Ángeles, Valdivia y Coyhaique. Cabe destacar que se considera zona saturada aquella en la que una o más normas primarias se vean sobrepasadas.

Las medidas ante declaraciones de episodios críticos son los siguientes:

- Bueno, PM 2.5 de 0 a 50 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], media de 24 horas.
- Regular, PM 2.5 de 50 a 80 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], media de 24 horas: Niños y tercera edad deberían evitar ejercicio prolongado. Población general debería limitar ejercicio prolongado.

- Alerta, PM 2.5 de 80 a 110 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], media de 24 horas: Empeoramiento de salud de personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Aumento de síntomas respiratorios en población general. Niños y tercera edad deberían evitar ejercicio prolongado. Población general debería limitar ejercicio prolongado.
- Pre-emergencia, PM 2.5 de 110 a 170 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]: Aumento significativo de enfermedades respiratorias en población general. Niños y tercera edad, además de personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares deberían evitar toda actividad al aire libre. Población general debería evitar ejercicio prolongado.
- Emergencia, PM 2.5 de 170 y 250 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]: Aumento significativo de enfermedades respiratorias en población general. Aumento significativo de mortalidad prematura por enfermedades cardiovasculares. Niños y tercera edad, además de personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares deberían evitar toda actividad al aire libre. Población general debería evitar ejercicio prolongado.
- Emergencia sanitaria, PM 2.5 de 250 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] y más: Empeoramiento significativo de enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Riesgo serio de aumento de enfermedades respiratorias en la población general. Población general debería evitar todo ejercicio al aire libre. Personas con enfermedades respiratorias, cardiovasculares, niños y la tercera edad debería permanecer dentro del hogar.

4.3.2.2.3 Calefacción limpia y Aislación Térmica

El Plan de Descontaminación incluyó en el año 2014 un presupuesto de 5250 millones de pesos para diversificar la matriz energética de la calefacción en la zona centro sur de Chile, cambiando las estufas existentes en domicilios por sistemas de calefacción más eficientes y menos contaminantes. Además, se incorporaron proyectos de mejoramiento de la envolvente térmica de las casas y calentamiento de ACS para reducir el consumo energético y por ende reducir las emisiones de contaminantes a la atmósfera (MMA, 2014).

4.3.2.2.4 Incentivo a medios de transporte sustentables

El gobierno de Chile a través de fondos otorgados por el Ministerio de Obras Públicas, Medio Ambiente y Salud, ha llevado a cabo mejoras que pretenden tener impacto a largo plazo en los niveles de contaminación (MMA, 2016) ellos son:

- Mejoramiento de pabellones y calles exclusivas para el transporte público: su finalidad es contar con buenos espacios de conducción y calles en buenas condiciones para agilizar el servicio de locomoción colectiva y así incentivar a la población a utilizar el transporte público en vez de automóviles particulares.
- Inyección de dinero en planes de mejora al Transantiago, Metro y algunos sistemas de transporte en regiones: esto se materializa en la modernización de las máquinas, siendo más nuevas, eficientes y menos contaminantes.
- Habilitación de Ciclo vías y bici-estacionamientos: construcción de 300 kilómetros de vías exclusivas para ciclistas y 3 mil plazas de estacionamiento de bicicletas en el gran Santiago.

4.3.2.2.5 Norma de Emisión de Material Particulado para Calefactores

Desde el 1 de octubre de 2014 está vigente la Norma de Emisión de Material Particulado para artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y derivados de la madera, a través del Decreto Supremo n° 39.

La penetración del consumo de leña para uso residencial alcanza en promedio un 38% a nivel nacional, lo cual se acentúa al hacer el desglose por regiones: el mayor indicador lo tiene la región de Aysén con 99%, le sigue la región de Los Lagos con 96%, y la región de Los Ríos con 94% (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2015).

Dentro de las consideraciones del decreto supremo se encuentran los resultados del monitoreo de las estaciones de medición de calidad del aire, los cuales indican que para el año 2011 se sobrepasaban los niveles permitidos diarios y anuales de MP 10 para las ciudades de Rancagua, Talca, Chillán, Los Ángeles, Temuco- Padre Las Casas, Osorno, Valdivia y Coyhaique.

Para disminuir la cantidad de material particulado emitido a la atmósfera producto de la alta utilización de leña como medio de calefacción residencial y cocción de alimentos en algunas regiones del país, se promulgó en 2011 el decreto para esta norma, que entró en vigencia hasta 2014 con el fin de proveer un margen de tiempo a los fabricantes para adaptar los calefactores a la norma.

Esta norma tiene por objetivo proteger la salud de las personas, y es aplicable a los artefactos nuevos que operan con leña como combustible y que tengan potencia menor o igual a 25 kW (Contraloría General de la República, 2012).

A continuación, se muestran las emisiones permitidas en [gr/h] de material particulado:

Tabla 2: Norma Emisión de MP para calefactores

Potencia [kW]	Límite Emisión MP [gr/h]
<8	2,5
8 - 14	3,5
>14	4,5

Fuente: elaboración propia

4.4 Calefacción domiciliaria

Se llama calefacción a la acción de calentar o subir la temperatura de un espacio, habitación o recinto. La calefacción domiciliaria entonces, es un sistema creado con el fin de calentar el interior de una vivienda cuando el clima no permite alcanzar la temperatura de confort³ (Arqhys, 2012). Para ello, distintas tecnologías pueden ser utilizadas.

4.4.3 Tecnologías para calefacción en Chile

4.4.3.1 Gas Licuado

Estufas de gran potencia térmica, de fácil movilidad y acceso al combustible, no requieren modificación de infraestructura, produce contaminación intradomiciliaria por emanación de monóxido de carbono.

4.4.3.2 Parafina

Estufas de fácil uso, no requiere modificación de infraestructura, se debe recargar constantemente, produce contaminación intradomiciliaria por emanación de material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno.

4.4.3.3 Pellet

Estufas de fácil uso, requieren instalación de evacuación de gases, combustible de bajo costo y de gran poder calorífico, con alimentación automatizada, no produce contaminación intradomiciliaria y las emanaciones de material particulado y gases nocivos al medioambiente están dentro de la norma.

4.4.3.4 Leña

Estufas con combustible de gran poder calorífico, requieren instalación y almacenamiento de combustible, genera gases contaminantes, su eficiencia depende de la forma de uso. Existen calefactores a leña certificados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, los cuales sí cumplen la norma de emisiones.

³ Temperatura de Confort es aquella con la cual el ser humano no experimenta frío ni calor, definida en 20°C +/- 2 (Indalum, 2015)

4.4.3.5 Gas Natural

Estufas con combustible de bajo costo, requiere instalación a red por cañería, además consume el oxígeno del recinto en el que está instalado.

4.4.3.6 Eléctricos

Dentro de esta categoría se encuentran: estufas halógenas, a cuarzo, oleoeléctricas, termoventiladores, entre otros. De fácil movilidad, pero con bajo poder calorífico en comparación con otras tecnologías, por lo que no son aptas para espacios extensos. No produce contaminación intradomiciliaria.

4.4.3.6 Aire Acondicionado

Equipos de alto costo pero también de alta eficiencia, puede calentar o enfriar el ambiente, no produce contaminación intradomiciliaria.

4.5 Aislación Térmica de una vivienda en Chile

Debido a la extensión de terreno de Chile, las condiciones climatológicas son distintas dependiendo de la latitud, por lo que no existe una estandarización respecto de la aislación térmica para todas las viviendas del territorio nacional, sino que depende de la zona térmica en que se encuentre. Esta segmentación, junto con otras medidas se encuentra en la Reglamentación Térmica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, detallada a continuación:

4.5.1 Reglamentación Térmica

Dentro de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones del Ministerio de Vivienda y Urbanismo se encuentra la Reglamentación Térmica, cuya primera etapa entró en vigencia el año 2000. En el documento se definen los valores de transmitancia y resistencia térmica para las 7 Zonas Térmicas dentro de Chile.

La primera etapa comprendió sólo aislación para techumbre, cuyos objetivos fueron:

- Mejorar la calidad de vida de la población con un costo mínimo.
- Reducir el consumo de energía en el sector residencial y la contaminación que esta genera en el interior y exterior de la vivienda.
- Reducir el deterioro de los materiales por exposición a grandes cambios de temperatura y humedad excesiva.
- Estimular el desarrollo de los sectores productivos y académicos.

La segunda etapa entró en vigencia el 2007 y agregó requisitos obligatorios para aislación térmica de muros, pisos ventilados y ventanas.

Originalmente, la tercera etapa comprendía la puesta en marcha de la Certificación Energética de Edificios, proyecto que fue suspendido en pos de un proceso menos riguroso. Luego, en el año 2014 fue puesta en vigencia la Calificación Energética de Viviendas, el cual es un proceso voluntario que aplica a las viviendas construidas en fechas posteriores a la segunda etapa de Reglamentación Térmica.

El mismo año 2014, se agregó la Norma Técnica Ministerial 11 de Acondicionamiento Ambiental de Edificios, la cual integra normas acústicas, condiciones higrotérmicas y calidad del aire para contribuir a los resultados esperados con su implementación: mejorar la calidad de vida de la población y reducir el consumo de energía (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2014).

4.5.2 Reacondicionamiento térmico: Caso aplicado en Concepción

El año 2016, la Cámara Chilena de la Construcción, en conjunto con la Corporación de Desarrollo tecnológico, elaboró el Manual de Reacondicionamiento Térmico, financiado por CORFO, en el marco del proyecto “Nodo de Eficiencia Energética en Viviendas Existentes”. Este instructivo tiene por objetivo apoyar en el ámbito técnico y práctico a los propietarios de viviendas que no poseen condiciones óptimas de aislación para ayudarlos a tomar la mejor decisión acerca de las medidas que contribuyen a mejorar la eficiencia energética de la vivienda, aumentando las condiciones de confort, lo cual trae aparejado el ahorro económico al incurrir en un menor gasto energético en el mediano y largo plazo.

Para la aplicación de las medidas de eficiencia energética, se tomó como caso base una casa de 50 m², ubicada en la ciudad de Concepción, en donde el 56% de la energía residencial es destinada a la utilización de calefactores (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2016).

El documento estudia 4 medidas aplicables a la vivienda:

- Techo: alternativa para cielo plano y vigas a la vista. Comprende desde el cielo interior hasta la cubierta e incluye cadenetas, vigas y aislación interior. La clave radica en instalar la aislación en la superficie más próxima al lugar habitado.
- Piso: alternativa para piso tipo losa y con vigas.
- Muros: alternativa para tabique perimetral, muros de albañilería y muros de hormigón armado.
- Ventanas: alternativa para vidrios y marcos.

Se informa al usuario acerca de los aspectos relevantes a considerar para cada medida, el funcionamiento de los mecanismos de transmisión de calor, los costos de instalación, los potenciales ahorros en dinero comparados con el caso base de vivienda sin reacondicionar y un indicador de costo versus efectividad que se traduce en la cantidad de dinero que cuesta ahorrar 1 [kWh].

El manual concluye que para el correcto reacondicionamiento térmico de una vivienda de esas características es necesario conjugar 3 aspectos: confort, ahorro en calefacción y eficiencia energética. Además, de las 4 medidas consideradas, el reacondicionamiento de las ventanas es la alternativa más cara de todas, sin embargo, combinando todas las medidas sujetas a un presupuesto limitado, se puede llegar a un 60% de ahorro energético.

4.6 Subsidios y fondos concursables para mejorar eficiencia energética en la vivienda

A continuación, se presentan los subsidios, fondos concursables, programas y planes pilotos pertenecientes a los ministerios de Medio Ambiente, Energía, Vivienda y Urbanismo que se han implementado en Chile relacionados con medidas de eficiencia energética y que se entregan a través de postulaciones en las respectivas secretarías regionales.

4.6.1 Aislación Térmica (no vigente)

A través del Subsidio para Acondicionamiento Térmico de la Vivienda del MINVU, los propietarios pudieron acceder hasta el 2011 a financiamiento de hasta 130 UF, dependiendo de la comuna en la que se ubique la vivienda, y pertenece al Programa de Protección del Patrimonio Familiar.

El financiamiento está dirigido a proyectos de habitabilidad que tienen por objetivo ahorrar en calefacción y disminuir los efectos de condensación al interior de las viviendas (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2015).

Requisitos para postulación:

- Alta vulnerabilidad social según Ficha de Protección Social.
- El beneficiario debe aportar con un mínimo de 3 UF.
- Ser propietario de la vivienda a mejorar, ubicada en zona rural o urbana.
- El valor de tasación de la vivienda no debe superar las 650 UF.
- No haber sido anterior beneficiario de otro subsidio perteneciente al Programa de Protección del Patrimonio Familiar, u otro del MINVU.

4.6.2 Programa Recambio de Calefactores

Implementado por el Ministerio de Medio Ambiente, tiene por objetivo reducir las emisiones de contaminantes que se generan a partir de la combustión de leña residencial.

El beneficio consiste en que el usuario puede acceder a un nuevo calefactor, haciendo entrega del equipo antiguo, que debe estar instalado y operativo en la vivienda. Según el grado de saturación de la localidad a implementar el programa y a las condiciones de la vivienda, el usuario puede optar por recambio de calefactor a leña, pellet, parafina o gas (Ministerio de Medio Ambiente, 2017).

Las localidades beneficiadas han sido: Coyhaique, Talca, Maule, Linares, Curicó, Rauco, Sagrada Familia, Teno, Romeral, Molina, Chillán, Chillán Viejo, Los Ángeles, Temuco, Padre Las Casas, Valdivia, Osorno y 17 comunas de la región de O'Higgins.

La postulación al programa está supeditada a los siguientes requisitos:

- Ser propietario del artefacto a leña que será cambiado.
- El artefacto a ser cambiado debe estar operativo en el domicilio y debe ser utilizado para calefacción y/o cocción de alimentos.
- El artefacto a ser cambiado debe ser el más usada o principal fuente de calefacción en la vivienda.
- La vivienda debe estar dentro del radio urbano de la localidad.
- Se debe hacer entrega del artefacto antiguo, para su posterior destrucción.

4.6.3 Programa Más Leña Seca

Del Ministerio de Energía en conjunto con SERCOTEC, este fondo concursable está dirigido a los productores y comerciantes de leña desde la región de O'Higgins a la región de Aysén. Consiste en aportar con financiamiento a la implementación de mejoras tales como construcción de galpones o acopios de secado, nuevos sistemas productivos y tecnología para todos aquellos empresarios, micro empresarios o pequeñas empresas productoras y/o comercializadoras de leña con el objetivo de aumentar la calidad de la leña para combustión. Junto con lo anterior, los beneficiarios reciben capacitaciones relacionadas al secado de leña y desarrollo empresarial (Ministerio de Energía, 2017).

Requisitos para postulación:

- Ser pequeñas, micro y medianas empresas que tengan inicio de actividades de primera categoría en el Servicio de Impuestos Internos.
- Elaboración y presentación de un proyecto que contenga las siguientes iniciativas:
 - Construcción y/o habilitación de infraestructura para acopio y secado de leña.
 - Implementación de técnicas o tecnologías para el procesamiento y secado de leña.
- No haber sido beneficiado anteriormente con programas relacionados a la construcción de centros de acopio y secado de leña, que hayan sido financiados o ejecutados por la Subsecretaría de Energía.
- No registrar deuda tributaria morosa en la Tesorería General de la República.

Los montos de financiamientos varían hasta los 8 millones de pesos dependiendo del tamaño del proyecto.

4.6.4 Compra Asociativa de Leña

Proyecto piloto ejecutado en enero de 2018, forma parte de Plan de Desarrollo Comunal PLADECO de la Municipalidad de Puerto Montt, región de Los Lagos, y fue desarrollado por vecinos de la ciudad, en conjunto con el Observatorio Municipal, y con apoyo de la SEREMI de Medio Ambiente, CONAF, Sistema Nacional de Certificación de Leña, Universidad de Los Lagos, COWORKING y proveedores de leña certificados de la región.

Consistió en asesorar a vecinos de las poblaciones La Paloma 1 y Antihual de la ciudad de Puerto Montt para lograr asociarse y comprar leña seca certificada a un menor precio debido al volumen de compra (CoWo, 2018).

El proyecto benefició a 50 familias, generando un ahorro en dinero de hasta 55% ya que el precio unitario de la vara de leña fue de 4 mil pesos. Cabe señalar que en el mercado actual la vara de leña al por menor fluctúa entre los 6 y 12 mil pesos.

Esta iniciativa también ha sido puesta en marcha en localidades de la región de la Araucanía como Temuco, Padre Las Casas, y si bien una de las consecuencias inmediatas y más evidente es el ahorro en dinero; la calidad del aire también se ve beneficiada debido a que un gran número de hogares que antes utilizaban cualquier tipo de leña para la utilización de los calefactores hoy utilizan leña certificada, de baja humedad que contribuye a la combustión completa y a la menor emisión de material particulado (Lignum, 2015).

4.6.5 Mejoramiento de Vivienda

Subsidio otorgado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo que permite reparar o realizar mejoras en la vivienda con el objetivo de interrumpir el deterioro. Consiste en apoyar financieramente a través de las secretarías regionales SERVIU obras pertenecientes a:

- Seguridad: reparación de cimientos, vigas, estructura de techo y piso.
- Habitabilidad: instalaciones sanitarias, eléctricas o de gas, filtraciones de agua, reposición de ventanas, puertas, etc.

- **Mantenimiento:** reparación de puertas, ventanas, muros, tabiques y pintura.
- **Mejoramiento de Bienes Comunes Edificados:** mejoramiento de escaleras, techos y pasillos comunes, elementos de protección e iluminación.
- **Innovaciones de Eficiencia Energética:** colectores solares, tratamiento de separación de aguas.

El subsidio otorga al propietario de la vivienda un monto entre 50 y 65 UF, dependiendo de la comuna en donde se ubique, y se enmarca dentro del Programa de Protección del Patrimonio Familiar (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2006).

Requisitos clave para el subsidio:

- Propietarios de viviendas en situación de vulnerabilidad o emergentes, cuya tasación no supere las 650 UF.
- Acreditar ahorro mínimo en una cuenta de ahorro con reajustabilidad y posibilidad de bloqueo y desbloqueo.
- No haber sido beneficiado con otros subsidios del MINVU: Mantenimiento de Viviendas, Mejoramiento de Vivienda Familiar y su Entorno.
- Contar con un constructor o contratista inscrito en los registros del MINVU, para la ejecución de las obras.
- Permiso de edificación de la Dirección de Obras Municipales de ser requerido.

5 Marco Teórico

5.1 Eficiencia Energética

El concepto de eficiencia energética es aplicable en diversos ámbitos, pero específicamente a nivel de construcción de viviendas se refiere a todas aquellas medidas y/o intervenciones que permitan alcanzar condiciones de confort, generalmente temperatura interior, con el mínimo consumo energético posible (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2015).

5.2 Aislación Térmica

Respecto de la aislación térmica de una vivienda, esta se refiere a la capacidad que tiene un material de construcción para oponerse al paso o transferencia de calor desde un extremo a otro, es decir, que aísla el exterior del interior de un ambiente cerrado.

La capacidad aislante de un material puede medirse a través de distintos coeficientes según la interpretación que se requiera. Los valores de dichos indicadores dependen de la densidad del material.

5.3 Modelamiento de Medidas de Eficiencia Energética

El estudio consiste en el cálculo del ahorro energético y económico producido por la implementación de medidas de eficiencia energética en las viviendas, las cuales se enumeran a continuación:

- Recambio de calefactores por estufas a pellet
- Mejoramiento de envolvente térmica
 - Aumentar espesor de la aislación en muros de poliestireno expandido.
 - Cambiar o sobreponer fachada.
- Cambiar vidrios simples por termopanel.

La elección de una propuesta se hace en base a los resultados entregados por el software descrito a continuación, y a su viabilidad técnica considerando la localización del proyecto:

condiciones climatológicas, accesos y transporte entre otros. Además, para esta elección se debe definir qué tipo de ahorro se busca: consumo energético, costos monetarios asociados al uso de energía o una combinación de ambos.

5.3.1 Herramienta de Modelamiento: software RETScreen

Para el cálculo de costos, emisiones y ahorros energéticos se utiliza el software canadiense RETScreen a través del cual es posible cuantificar la emisión de CO₂ generada por cada vivienda atribuible al consumo energético.

RETScreen corresponde a un conjunto de programas para la gestión de energías limpias, que permite evaluar la viabilidad técnica y financiera de proyectos asociados a eficiencia energética, energía renovable y sistemas de cogeneración de energía a través de cálculos de rendimiento y ahorro de instalaciones residenciales e industriales (Natural Resources Canada, 2016)

Los costos y emisiones se calculan para un caso base que representa la condición de construcción y aislación actual de las viviendas. Luego se realiza el mismo análisis para los casos propuestos con sus respectivas medidas de eficiencia energética. La diferencia de resultados entre ambos casos permite visualizar los potenciales ahorros en combustible y/o dinero en que se incurriría si se llegasen a implementar las medidas de eficiencia energética, a partir de los cuales se toma la decisión de implementar una determinada medida o una combinación de medidas que entreguen el mejor desempeño.

La confiabilidad de los resultados que entrega el software es respaldada por la fuente de los datos utilizados. Estos corresponden a bases de datos recogidos desde estaciones de monitoreo terrestres y satelitales de la NASA⁴

⁴ NASA: National Aeronautics and Space Administration, agencia del gobierno de Estados Unidos dedicada a la investigación aeronáutica y aeroespacial y responsable del programa espacial civil de dicho país.

6 Desarrollo

6.1 Caso de Estudio: Vivienda Social en Llanquihue

6.1.1 Descripción de las viviendas

El grupo de estudio corresponde a un total de 952 viviendas sociales, construidas en un periodo de tiempo que abarca desde el año 1998 al año 2011, ubicado en el sector norte de la ciudad de Llanquihue, específicamente aledaño al humedal El Loto y humedal Baquedano, agrupadas en 10 poblaciones o tandas de construcción:

Tabla 3: Viviendas objetivo

Población	Cantidad de Viviendas	Año de Construcción
Techo Digno II	41	2011
Baquedano I	74	2007
Baquedano II	84	2009
La Laguna	194	2002
Laguna del Sur	100	2001
Pablo Neruda	86	2005
Vista Hermosa	237	2005
Villa Palena	97	2001
Villa Siete Lagos	33	1998
Pasaje Futaleufú	6	2009

Fuente: Dirección de Obras Municipales Llanquihue, elaboración propia

Para poder escalar el modelamiento al total de viviendas, se agrupan en 11 tipologías o modelos diferentes de vivienda⁵ con distribuciones y metrajes similares. A continuación se presentan los polígonos en donde se ubican las viviendas en estudio:

⁵Datos obtenidos desde planos de loteo y permisos de edificación en Dirección de Obras Municipales de la Ilustre Municipalidad de Llanquihue.

Ilustración 4: Ubicación viviendas



Fuente: Google Earth

6.1.1.1 Infraestructura general

Las 11 tipologías de vivienda son homologables en infraestructura, variando sólo el espesor de la aislación.

Tabla 4: Infraestructura viviendas

Item	Función	Material
Muros	envolvente	pino impregnado
	aislación	poliestireno expandido
	revestimiento interior	yeso cartón
Techo	techumbre	zincalum
	aislación	lana de vidrio
	cielo raso	yeso cartón
Ventanas	vidriado	vidrio simple
Piso	radier	hormigón
	cubrepiso	cerámica para piso

Fuente: Dirección de Obras Municipales Llanquihue, elaboración propia

6.1.1.2 Descripción de tipologías de vivienda

Para efectos de escalamiento de los resultados finales, se agrupan las 952 viviendas de acuerdo a sus características de metraje, ya que en infraestructura y materiales de construcción son similares. De esta forma se definen 11 tipologías de vivienda diferenciables en su metraje total y superficie de envolvente y ventanas.

Tabla 5: Tipologías de viviendas

Tipología	Cantidad	Superficie [m2]
1	124	18,06
2	323	25,78
3	20	35,03
4	155	39,13
5	125	43,41
6	27	46,34
7	111	50,38
8	46	51,72
9	14	53,51
10	2	61,92
11	6	65,98

Fuente: Planos de Loteo y Permisos de Edificación DOM Llanquihue, elaboración propia

6.1.1.2.1 Tipología 1

Tabla 6: Descripción Tipología 1

Cantidad homologables	124	
Superficie	18,06 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	1	
Modelo	Pareada	
Superficie envolvente	28,8 m ²	
Superficie ventanas	2,61 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 40 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

Fuente: Permisos de Edificación DOM Llanquihue, elaboración propia

6.1.1.2.2 Tipología 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11

Las especificaciones de las tipologías restantes se encuentran en Anexo 1: Descripción tipologías de vivienda.

6.1.2 Descripción de la población

6.1.2.1 Segmentación socio-económica

Los polígonos geográficos seleccionados en donde se ubican las 952 viviendas que son objeto de investigación corresponden según la segmentación de grupos socioeconómicos al nivel “clase media baja C3” (Asociación de Investigadores de Mercado, 2016) considerando un ingreso promedio de \$ 503.000 y una superficie de vivienda promedio per cápita de 29 m².

6.1.2.2 Consumo de leña

Dada la cantidad y densidad poblacional la comuna de Llanquihue se clasifica como “resto de área urbana” con respecto a grandes centros urbanos (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2015). De dicho estudio, se extrae la información relacionada al consumo de leña anual para calefacción domiciliaria en la región de Los Lagos, considerando que el artefacto funciona en promedio 12 horas diarias.

Tabla 7: Consumo de leña, X región

Consumo promedio de leña al año en zona urbana X región		
6,9 m ³	5214 kg	52,14 varas

Fuente: Medición Nacional Consumo de Leña

Considerando la segmentación por grupo socioeconómico, el comportamiento respecto al consumo de leña anual para el sector C3 es de:

Tabla 8: Consumo de leña sector C3, X región

Consumo promedio de leña al año sector C3, X región		
3,9 m ³	3120 kg	31,2 varas

Fuente: Medición Nacional Consumo de Leña

6.1.3 Descripción del conjunto de medidas de eficiencia energética propuestas

6.1.3.1 Mejoramiento de Envolvente Térmica

Consiste en implementar medidas que disminuyan el coeficiente de transmitancia térmica, es decir, que la red de resistencias térmicas que componen el muro envolvente tengan una menor capacidad de transmitir el calor entre las superficies interior y exterior de manera de disminuir la pérdida de calor a través de los muros y se mantenga la temperatura de confort con un menor consumo energético.

6.1.3.1.1 Medida 1: Aumentar aislación de poliestireno expandido en muros

Se propone aumentar el espesor del poliestireno expandido ya existente en las viviendas y evaluar el impacto en el ahorro de combustible anual que se produce.

La propuesta se justifica ya que el espacio entre revestimiento interior y exterior no se encuentra totalmente cubierto y un aumento en el espesor de la aislación contribuye a disminuir el coeficiente de transmitancia térmica.

6.1.3.1.2 Medida 2: Cambiar envolvente

Se propone cambiar la superficie exterior de la envolvente o fachada de pino impregnado traslapado ya existente por un revestimiento de plancha OSB de 8 mm de espesor y sobre esto un revestimiento exterior de siding de fibrocemento de 6 mm de espesor.

6.1.3.1.3 Medida 3: Aumentar envolvente

Se propone sobreponer a la fachada existente de pino impregnado traslapado la misma alternativa de revestimiento de plancha OSB de 6 [mm] de espesor y sobre esto un revestimiento exterior de siding de fibrocemento de 6 [mm] de espesor.

6.1.3.1.4 Medida 4: Aumentar aislación y cambiar envolvente

Se propone aumentar el espesor de la aislación de poliestireno expandido, y cambiar el revestimiento de pino impregnado por plancha de OSB y siding fibrocemento.

6.1.3.1.5 Medida 5: Aumentar aislación y envolvente

Se propone aumentar el espesor de la aislación de poliestireno expandido, y sobreponer a la fachada existente de pino impregnado, una plancha de OSB y siding fibrocemento.

6.1.3.2 *Mejoramiento de Ventanas*

6.1.3.2.1 Cambio de ventanas de vidrio simple por termopanel

Se propone cambiar el vidrio simple de las ventanas por vidrio termopanel. Se evaluará el cambio total y parcial de las ventanas según el impacto en los ahorros de energía versus los costos de instalación.

La evaluación de esta medida se justifica ya que se ha estimado que el recambio de vidrios por termopanel genera ahorros de energía cercanos al 15% (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2016).

6.1.3.3 *Mejoramiento del Sistema de Calefacción*

6.1.3.3.1 Cambio de calefactor por estufa a pellet

Se propone como posible solución al problema realizar un recambio masivo de los calefactores a leña existentes en las viviendas por estufas a pellet. Los motivos que justifican la propuesta son:

- La emisión de material particulado de las estufas a pellet está dentro de la *Norma de Emisión de Material Particulado para artefactos que combustionen o puedan combustionar leña y derivados de la madera*⁶.

⁶ Descrita en Norma de Emisión de Material Particulado para Calefactores.

- La existencia del *Programa de Recambio de Calefactores*⁷ del Ministerio de Medio Ambiente, en donde el beneficiario recibe una estufa a pellet sin costo, previa entrega de su antiguo calefactor de menor tecnología.
- Los propietarios del grupo de viviendas en estudio son sujetos a ser beneficiarios del programa ya que cumplen con los requisitos exigidos por el Ministerio de Medio Ambiente.

⁷ Descrito en Programa Recambio de Calefactores.

6.2 Descripción del modelamiento en RETScreen

6.2.1 Descripción General

El proyecto consiste en realizar mediciones de medidas de eficiencia energética para obtener los consumos y ahorros energéticos de todas las propuestas y las 11 tipologías de vivienda.

Para comenzar con el modelamiento, se crea el proyecto en la pestaña *comenzar* y se ingresan los datos:

Ilustración 5: Creación Proyecto en RETScreen

Información del proyecto		Ver la base de datos del proyecto
Nombre del Proyecto	Modelamiento Memoria FLC	
Ubicación del Proyecto	Llanquihue	
Preparado para	Fundación Legado Chile	
Preparado por	Gabriela Aros	
Tipo de proyecto	Mediciones de eficiencia energética	
Tipo de instalación	Residencial	
Tipo de análisis	Método 2	
Poder calorífico de referencia	Poder Calorífico Inferior (PCI)	
Mostrar parámetros	<input checked="" type="checkbox"/>	
Idioma	Spanish - Español	
Manual de usuario	English - Anglais	
Moneda	Chile	
Unidades	Unidades métricas	

Condiciones de referencia del sitio		Seleccionar ubicación de datos meteorológicos
Ubicación de datos meteorológicos	Puerto Montt/Tepual	
Mostrar datos	<input type="checkbox"/>	

Comenzar | Modelo de Energía | Análisis de Costos | Análisis de Emisiones | Análisis Financiero

La descripción de todos los ítems del modelamiento se detallan en la sección: Anexo 2: Descripción del Modelamiento en RETScreen.

6.3 Cálculo de Parámetros

El cálculo de la transmitancia térmica, en $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$ se realiza a través de la ecuación:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se}}$$

Ecuación 1: Coeficiente de Transmitancia Térmica

Donde

R_{si} : resistencia térmica de la superficie interior, en $[^\circ C/W]$

R_{se} : resistencia térmica de la superficie exterior, en $[^\circ C/W]$

e: espesor de la capa, en [mm]

λ : conductividad térmica de la capa, en $[W/m \cdot ^\circ C]$

Ilustración 6: Estructura de pared



Fuente: elaboración propia

Los parámetros R_{si} y R_{se} dependen de la posición de la red de resistencias y del sentido del flujo, y se definen los siguientes valores⁸:

$$R_{si} : 0,12 \text{ [m}^2 \text{ * } ^\circ\text{C/W]}$$

$$R_{se} : 0,05 \text{ [m}^2 \text{ * } ^\circ\text{C/W]}$$

6.3.1 Coeficiente de transmitancia térmica caso base

6.3.1.1 Muros

La estructura de los muros difiere sólo en el espesor de la aislación de poliestireno expandido; siendo para algunas viviendas de 40 [mm] de espesor y para otras de 50 [mm] de espesor. A continuación se realiza el cálculo del coeficiente de transmitancia térmica según los espesores de la red de resistencias para ambos casos:

6.3.1.1.1 U base para muros con 40 [mm] de aislación

Tabla 9: Estructura muro 40 [mm] de aislación

Material	Conductividad λ^9 [W/m*°C]	Espesor e [mm]
yeso cartón	0,26	10
poliestireno exp	0,043	40
pino impregnado	0,104	16

Fuente: elaboración propia

Las tipologías de vivienda que presentan esta configuración de red de resistencias son: 1, 3 y 7

$$U_{(base\ 40\ mm)} = 0,7736703 \left[\frac{W}{m^2 \text{ * } ^\circ C} \right]$$

⁸ Valores para las resistencias de las superficies interior y exterior se obtienen del Curso de Evaluadores Energéticos (MINVU, 2016).

⁹ Valores de conductividad extraídos desde Curso Evaluadores Energéticos: Sistema de Calificación Energética Vivienda, MINVU

6.3.1.1.2 U base para muros con 50 [mm] de aislación

Tabla 10: Estructura muro 50 [mm] de aislación

Material	Conductividad λ [W/m*°C]	Espesor e [mm]
yeso cartón	0,26	10
poliestireno exp	0,043	50
pino impregnado	0,104	16

Fuente: elaboración propia

Las tipologías de vivienda que presentan esta configuración de red de resistencias son: 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10 y 11

$$U_{(base\ 50\ mm)} = 0,6556954 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

6.3.1.2 Techo

6.3.1.2.1 U base para techo

Se utiliza el coeficiente de transmitancia térmica para techo clasificado como “techo frío”¹⁰

$$U_{techo} = 0,71 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

¹⁰ Techo Frío: especificado en soluciones constructivas del MINVU, es una solución económica de techumbre utilizado en viviendas sociales, valor U extraído desde Sistema de Calificación Energética de Viviendas.

6.3.1.3 Ventanas

6.3.1.3.1 U base para ventanas

Se utiliza el coeficiente de transmitancia térmica para vidrio simple¹¹.

$$U_{\text{vidrio}} = 5,8 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

6.3.2 U para medidas propuestas

Se recalcula el coeficiente de transmitancia térmica para todos los casos propuestos de modificación de envolvente y cambio de ventanas.

6.3.2.1 Medidas Propuestas para Muros

6.3.2.1.1 U para medida 1: aumentar espesor de aislación

De acuerdo a las especificaciones técnicas, el espacio disponible para aislación es de 70 [mm], pero las viviendas poseen poliestireno expandido de 40 [mm] y 50 [mm] de espesor.

Por lo anterior, se propone aumentar la aislación de la siguiente forma:

- Para aislación de 40 [mm]:
Adicionar plancha de poliestireno expandido de 30 [mm] de espesor a la aislación ya existente de 40 [mm].
De esta forma, se aumenta el espesor hasta 70 [mm].
- Para aislación de 50 [mm]:
Adicionar plancha de poliestireno expandido de 20 [mm] de espesor a la aislación ya existente de 50 [mm].
De esta forma, se aumenta el espesor hasta 70 [mm].

¹¹ Coeficiente de transmitancia térmica para vidrio simple extraído desde base de datos RETScreen.

Para ambos casos, y considerando la misma densidad del poliestireno expandido, el coeficiente de transmitancia térmica se reduce al mismo valor:

Tabla 11: Estructura de muro, medida 1

Material	Conductividad λ [W/m*°C]	Espesor e [mm]
yeso cartón	0,26	10
poliestireno exp	0,043	70
pino impregnado	0,104	16

Fuente: elaboración propia

$$U_1 = 0,502458 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

Se observa que con esta medida, el coeficiente de transmitancia térmica se reduce en un 35,1% para las viviendas con aislación original de 40 [mm] de espesor, y en un 23,4% para las viviendas con aislación original de 50 [mm] de espesor.

6.3.2.1.2 U para medida 2: cambiar envolvente

Se propone cambiar el revestimiento exterior de pino impregnado de 16 [mm] de espesor, por forro de OSB estructural de 8 [mm] de espesor y revestimiento exterior de siding fibrocemento de 6 [mm] de espesor.

De esta forma, el nuevo coeficiente de transmitancia térmica varía en distinta proporción, considerando el espesor de la aislación de las viviendas:

- U para medida 2 de muro con 40[mm] de aislación

Tabla 12: Estructura de muro 40 [mm], medida 2

Material	Conductividad λ [W/m*°C]	Espesor e [mm]
yeso cartón	0,26	10
poliestireno exp	0,043	40
OSB	0,23	8
siding fibrocemento	0,23	6

Fuente: elaboración propia

$$U_{2(40\text{ mm})} = 0,8336364 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

- U para medida 2 de muro con 50 [mm] de aislación

Tabla 13: Estructura de muro 50 [mm], medida 2

Material	Conductividad λ [W/m*°C]	Espesor e [mm]
yeso cartón	0,26	10
poliestireno exp	0,043	50
OSB	0,23	8
siding fibrocemento	0,23	6

Fuente: elaboración propia

$$U_{2(50\text{ mm})} = 0,6982646 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

Se observa que con esta medida el coeficiente de transmitancia térmica para muros aumenta en un 7,8% para las viviendas con aislación original de 40[mm] de espesor, y en un 6,5% para las viviendas con aislación original de 50 [mm] de espesor, por lo que esta propuesta no contribuye a la mejora de la envolvente térmica.

6.3.2.1.3 U para medida 3: aumentar envolvente

Se propone aumentar la envolvente de las viviendas adicionando al revestimiento exterior existente de pino impregnado de 16 [mm], una placa de OSB y revestimiento de siding fibrocemento.

El coeficiente de transmitancia térmica de muros varía dependiendo del espesor de la aislación:

- U para medida 3 de muro con 40 [mm] de aislación

Tabla 14: Estructura de muro 40 [mm], medida 3

Material	Conductividad λ [W/m*°C]	Espesor e [mm]
yeso cartón	0,26	10
poliestireno exp	0,043	40
pino impregnado	0,104	16
OSB	0,23	8
siding fibrocemento	0,23	6

Fuente: elaboración propia

$$U_{3(40\text{ mm})} = 0,7388745 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

- U para medida 3 de muro con 50 [mm] de aislación

Tabla 15: Estructura de muro 50 [mm], medida 3

Material	Conductividad λ [W/m*°C]	Espesor e [mm]
yeso cartón	0,26	10
poliestireno exp	0,043	50
pino impregnado	0,104	16
OSB	0,23	8
siding fibrocemento	0,23	6

Fuente: elaboración propia

$$U_{3(50\text{ mm})} = 0,6305297 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

De esta forma, el coeficiente de transmitancia térmica se reduce en 4,5% para viviendas con aislación original de 40 [mm] de espesor, y en un 3,8% para viviendas con aislación original de 50 [mm] de espesor.

6.3.2.1.4 U para medida 4: aumentar aislación y cambiar envolvente

Se propone aumentar la aislación hasta el espesor de 70 [mm] de poliestireno expandido, y además cambiar el revestimiento exterior de pino impregnado por una plancha de OSB de 8 [mm] de espesor revestida con siding fibrocemento de 6 [mm] de espesor.

Tabla 16: Estructura de muro, medida 4

Material	Conductividad λ [W/m*°C]	Espesor e [mm]
yeso cartón	0,26	10
poliestireno exp	0,043	70
OSB	0,23	8
siding fibrocemento	0,23	6

Fuente: elaboración propia

- U para medida 4 de muro con 40 [mm] de aislación
Se adiciona plancha de poliestireno expandido de 30 [mm] de espesor para alcanzar el espesor total de 70 [mm], y se cambia el revestimiento por OSB y siding fibrocemento.
- U para medida 4 de muro con 50 [mm] de aislación
Se adiciona plancha de poliestireno expandido de 20 [mm] de espesor para alcanzar el espesor total de 70 [mm], y se cambia el revestimiento por OSB y siding fibrocemento.

Para ambos casos, el coeficiente de transmitancia térmica se reduce a

$$U_4 = 0,52708 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

Con este valor, el coeficiente de transmitancia térmica se reduce en un 31,9% para muros con aislación original de 40 [mm] de espesor, y se reduce en un 19,6 % para muros con aislación original de 50 [mm] de espesor.

6.3.2.1.5 U para medida 5: aumentar aislación y envolvente

Se propone aumentar la aislación hasta el espesor de 70 [mm] de poliestireno expandido, y adicionar al revestimiento exterior de pino impregnado, una plancha de OSB y siding fibrocemento.

Tabla 17: Estructura de muro, medida 5

Material	Conductividad λ [W/m*°C]	Espesor e [mm]
yeso cartón	0,26	10
poliestireno exp	0,043	70
pino impregnado	0,104	16
OSB	0,23	8
siding fibrocemento	0,23	6

Fuente: elaboración propia

- U para medida 5 de muro con 40 [mm] de espesor
Se adiciona plancha de poliestireno expandido de 30 [mm] de espesor para alcanzar el espesor total de 70 [mm], y se cubre el revestimiento exterior con plancha de OSB y siding fibrocemento.

- U para medida 5 de muro con 50 [mm] de espesor
Se adiciona plancha de poliestireno expandido de 20 [mm] de espesor para alcanzar el espesor total de 70 [mm], y se cubre el revestimiento exterior con plancha de OSB y siding fibrocemento.

Para ambos casos, el coeficiente de transmitancia térmica se reduce a

$$U_5 = 0,48754 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

Se observa que el coeficiente de transmitancia térmica se reduce en un 37% para las viviendas con aislación original de 40 [mm] de espesor, y en un 25,6% para las viviendas con aislación original de 50 [mm] de espesor.

6.3.2.2 *Medidas Propuestas para Ventanas*

6.3.2.2.1 U para medida 6: cambiar vidrio simple

Se propone cambiar las ventanas actuales de vidrio simple por ventanas de termopanel para reducir las pérdidas por transferencia de calor a través de este espacio.

$$U_{\text{vidrio}} = 5,8 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

$$U_{\text{termopanel}} = 3,2 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

Se observa que el coeficiente de transmitancia térmica para las ventanas se reduce en un 44,8%.

6.4 Costo de Medidas Propuestas

Se procede a calcular el costo de cada una de las medidas para las 11 tipologías de vivienda. La variación en los costos depende del metraje de la envolvente y del metraje de las ventanas.

El costo total de cada medida propuesta se compone del costo de materiales más el costo de mano de obra.

Cabe señalar, que la medida 2 para muros se descarta para seguir en el análisis ya que el coeficiente de transmitancia térmica aumenta y de esta forma no contribuye a la mejora de la condición de la envolvente térmica. Para esta medida se modelarán sólo 2 casos límite, correspondientes a las tipologías con menor y mayor metraje respectivamente.

6.4.1 Costos de Mano de Obra

Independiente a los costos de materiales de cada medida propuesta, se considera el costo de mano de obra atribuible al servicio de albañilería y construcción necesario para realizar el reacondicionamiento térmico de las viviendas, el cual consta de las siguientes tareas:

1. Desmontar el revestimiento interior de yeso cartón
2. Adicionar aislación de poliestireno expandido
3. Revestir nuevamente con yeso cartón la superficie de muro interior.

Para las medidas de cambio o aumento de envolvente, se adicionan las tareas necesarias.

Para efectos de cálculo, se considerará un costo promedio de mano de obra atribuible a las tareas antes descritas para todas las medidas de envolvente.

El costo de mano de obra por cada m^2 a intervenir es:

$$\text{Costo mano de obra}^{12} = 7000 \left[\$/m^2 \right]$$

¹² Costo mano de obra desde Índice de Costo de Edificación mayo 2018 de Cámara Chilena de la Construcción (CChC, 2018).

6.4.2 Costos de Materiales

6.4.2.1 Costo envolvente

Para el cálculo de los costos se multiplican el valor del m² de material por la cantidad de m² de la envolvente de la tipología de vivienda. El detalle de los costos de cada tipología se encuentra en la sección Anexo 3: Costo Total por tipología.

6.4.2.2 Costo ventana

Para el cálculo del costo del recambio de ventanas de vidrio simple por vidrio termopanel, se multiplica la superficie total de ventanas de cada tipología por el valor del m² de termopanel correspondiente a 120.000 [\$/m²].

6.4.3 Costo Recambio de Calefactor

Para todas las tipologías de vivienda se considera el recambio de los artefactos a leña actuales, ya sean estufas a leña, combustión lenta o salamandras por una estufa a pellet marca Amesti modelo Italy 8100 con las siguientes especificaciones:

Potencia: 8,6 [kW]

Rango de superficie: 70 a 154 [m²]

Precio: \$650.000

Se considera el mismo modelo de estufa para todas las tipologías ya que el Programa de Recambio de Calefactores que podría ser considerado como vía de financiamiento contempla este modelo de estufa.

6.5 Casos Particulares

6.5.1 Casos límite para medida 2

La medida 2, cuya propuesta consiste en cambiar la envolvente existente de pino impregnado por plancha de OSB y siding fibrocemento, se descartó para el análisis posterior ya que el coeficiente de transmitancia térmica aumenta, es decir, la red de resistencias del muro se opone al paso del calor con menor intensidad, haciendo que el calor del interior de la vivienda se movilice hacia el exterior con más facilidad, por lo que la característica aislante del muro no se ve lograda con esta intervención.

Sin embargo, se modelan en RETScreen 2 casos límite para visualizar el comportamiento de la medida respecto de su viabilidad financiera y análisis de emisiones. Estos casos corresponden a las viviendas con menor y mayor metraje, correspondientes a la tipología 1 y tipología 11 respectivamente; el resultado del modelamiento se encuentra en Resultados medida 2

6.5.2 Viviendas sin aislación

Se realiza el mismo análisis en RETScreen considerando que un número indeterminado de viviendas no cuenta con aislación de muros, de acuerdo a información proporcionada por la Dirección de Obras Municipales. Lo anterior quiere decir que si bien, en las especificaciones técnicas de las viviendas objetivo se detalla la instalación de poliestireno expandido como agente aislante, algunas de estas viviendas fueron recepcionadas sin verificar este punto, por lo cual las medidas para mejorar la aislación y calidad de la envolvente deberían tener mayor impacto en reducción de emisiones. Se ejecuta el software para las 11 tipologías de vivienda, teniendo en cuenta lo siguiente:

- Dado que todas las viviendas presentan la misma estructura de muro, el coeficiente de transmitancia térmica es el mismo para todas las tipologías sin aislación:

Tabla 18: Estructura de muro sin aislación

Material	Conductividad λ [W/m*°C]	Espesor e [mm]
yeso cartón	0,26	10
poliestireno exp	0,043	no aplica
pino impregnado	0,104	16

Fuente: elaboración propia

$$U_{\text{sin aisl}} = 2,76008 \left[W/m^2 * ^\circ C \right]$$

Luego, se modelan las mismas medidas de eficiencia energética que se evaluaron para las tipologías base, con los mismos espesores de aislación para poder comparar teniendo como referencia el mismo monto de inversión.

Para las tipologías 1,3 y 7 el coeficiente de transmitancia térmica se comporta de la siguiente forma:

Tabla 19: Resumen U para tipologías 1,3 y 7 sin aislación

Medida	U [W/m ² *°C]	Reducción
med 1	0,943412148	65,8%
med 2	3,712902024	-34,5%
med 3	2,36307595	14,4%
med 4	1,034120258	62,5%
med 5	0,892178708	67,7%

Fuente: elaboración propia

Para las tipologías 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10 y 11 el coeficiente de transmitancia térmica se comporta de la siguiente forma:

Tabla 20: Resumen U para tipologías 2,4,5,6,8,9,10 y 11 sin aislación

Medida	U [W/m2*°C]	Reducción
med 1	1,208570255	56,2%
med 2	3,712902024	-34,5%
med 3	2,36307595	14,4%
med 4	1,361567926	50,7%
med 5	1,125753998	59,2%

Fuente: elaboración propia

Los resultados de todas las medidas para cada tipología se encuentran en Resultados Viviendas sin aislación.

6.6 Resultados del Modelamiento

Se utilizaron 3 indicadores, descritos más adelante, como criterios de decisión para escoger la mejor medida de eficiencia energética a implementar en las viviendas. Las medidas finalmente escogidas varían según la naturaleza del indicador: financiero y ambiental.

El comportamiento del coeficiente de transmitancia térmica para las medidas de muro se consolida a continuación:

- Para tipologías 1, 3 y 7

Tabla 21: Resumen U para tipologías 1,3 y 7

Medida	U [W/m ² *°C]	Reducción
med 1	0,502458361	35,1%
med 2	0,833636456	-7,8%
med 3	0,738874499	4,5%
med 4	0,527081978	31,9%
med 5	0,487547017	37,0%

Fuente: elaboración propia

- Para tipologías 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10 y 11

Tabla 22: Resumen U para tipologías 2,4,5,6,8,9,10 y 11

Medida	U [W/m ² *°C]	Reducción
med 1	0,502458361	23,4%
med 2	0,698264630	-6,5%
med 3	0,630529764	3,8%
med 4	0,527081978	19,6%
med 5	0,487547017	25,6%

Fuente: elaboración propia

A continuación, se muestran los resultados relacionados al consumo y ahorro de energía, combustible, y reducción de emisiones de las medidas propuestas, al cotejarlos con el caso base.

6.6.1 Resultados Tipología 1

6.6.1.1 Consumo base, tipología 1

Se muestra el consumo de combustible y de energía para calentamiento de la vivienda en condiciones actuales, es decir, sin considerar las medidas de eficiencia energética.

Consumo anual de combustible (leña): 2158,3 [kg]

Energía calentamiento anual: 9 [MWh]

Ilustración 7: Consumo base, tipología 1 RETScreen

	Combustible		Caso base	
Tipo de combustible	Unidad - Consumo combustible	Precio del combustible	Consumo de combustible	Costo del combustible
Combustible definido por el usuario	kg	CLP 120,000	2.158,3	CLP 258.991
Total				CLP 258.991

Verificación del proyecto	Unidad - Consumo combustible	Consumo de combustible - histórico	Consumo de combustible - Caso base	Consumo de combustible - variación
Combustible definido por el usuario	kg		2.158,3	

Consumo de combustible	Calentamiento MWh	Enfriamiento MWh	Electricidad MWh	Total MWh
Consumo de combustible - caso base	9			9
Consumo de combustible - caso propuesto	9			9
Combustible ahorrado	0			0
Combustible ahorrado - %	0,0%			0,0%

6.6.1.2 Resultados Medida 1, tipología 1

Se muestra el consumo, costo y ahorro anual del combustible, análisis de emisiones y análisis financiero de la implementación de la medida 1: aumentar espesor de la aislación.

6.6.1.2.1 Consumo, costo y ahorro anual de combustible, Medida 1, tipología 1

Ilustración 8: Consumo medida 1, tipología 1 RETScreen

Resumen		Mostrar datos							
		Combustible		Caso base		Caso propuesto		Ahorros en costo de combustible	
Tipo de combustible	Unidad - Consumo combustible	Precio del combustible	Consumo de combustible	Costo del combustible	Consumo de combustible	Costo del combustible	Combustible ahorrado	Ahorros en costo de combustible	
Combustible definido por el usuario	kg	CLP 120.000	2.158,3	CLP 258.991	2.120,8	CLP 254.495	37,5	CLP 4.496	
Total				CLP 258.991		CLP 254.495		CLP 4.496	
Verificación del proyecto									
Tipo de combustible	Unidad - Consumo combustible	Consumo de combustible - histórico	Consumo de combustible - Caso base	Consumo de combustible - variación					
Combustible definido por el usuario	kg		2.158,3						
Consumo de combustible		Calentamiento MWh	Enfriamiento MWh	Electricidad MWh	Total MWh				
Consumo de combustible - caso base		9			9				
Consumo de combustible - caso propuesto		9			9				
Combustible ahorrado		0			0				
Combustible ahorrado - %		1,7%			1,7%				
<input type="checkbox"/> Mostrar datos Ver la base de datos									
Punto de referencia									
Unidad de energía	kWh								
Unidad de referencia	m²	105							
Punto de referencia									
Consumo de combustible		Calentamiento kWh/m²	Enfriamiento kWh/m²	Electricidad kWh/m²	Total kWh/m²				
Consumo de combustible - caso base		87,4			87,4				
Consumo de combustible - caso propuesto		85,8			85,8				
Combustible ahorrado		1,5			1,5				

6.6.1.2.2 Análisis de emisiones, Medida 1, tipología 1

El ahorro en emisiones anual de gases de efecto invernadero GEI se muestran a continuación:

Ilustración 9: Ahorro Emisiones, medida 1, tipología 1 RETScreen

Resumen de reducción de emisiones GEI							
Proyecto de medición de la eficiencia energética	Caso base	Caso propuesto			Reducción anual bruta de emisiones GEI	Derechos de transacción por créditos GEI	Reducción de emisiones GEI anual neta
	emisiones de GEI tCO2	emisiones GEI tCO2			tCO2	%	tCO2
Reducción de emisiones GEI anual neta	3,7	3,2			0,5		0,5
	0,5	tCO2	es equivalente a	0,1	Áreas de bosques absorbiendo carbón		

La reducción de toneladas de CO₂ pueden ser visualizadas como:

- Áreas de bosque absorbiendo carbón
- Hectáreas de bosque absorbiendo carbón
- Autos y camiones livianos no utilizados
- Litros de gasolina no consumidos
- Barriles de petróleo crudo no consumidos
- Personas que reducen el consumo de energía en un 20%
- Toneladas de desecho reciclado

6.6.1.2.3 Análisis Financiero, Medida 1, tipología 1

Se muestran los indicadores de viabilidad financiera producidos por la implementación de la medida 1:

Ilustración 10: Viabilidad Financiera medida 1, tipología 1 RETScreen

Viabilidad financiera		
TIR antes de impuestos - capital	%	-4,6%
TIR antes - impuestos - activos	%	-4,6%
TIR luego de impuestos - capital	%	-4,6%
TIR luego de impuestos - impuestos - activos	%	-4,6%
Pago simple de retorno del capital	año	63,7
Repago - capital	año	> proyecto
Valor Presente Neto (VPN)	CLP	-237.444
Ahorros anuales en ciclo de vida	CLP/año	-31.789
Relación Beneficio-Costo		0,17
Costo de reducción de GEI	CLP/tCO ₂	70.084

6.6.2 Resultados Tipología 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11

Del mismo modo, para cada tipología se realiza el modelamiento en el software RETScreen para las medidas propuestas:

- Medida 3: aumentar aislación.
- Medida 4: aumentar aislación y cambiar envolvente.
- Medida 5: aumentar aislación y aumentar envolvente.
- Cambio de vidrio simple por vidrio termopanel.
- Cambio de calefactor por estufa a pellet.

Los resultados de todas las medidas para cada tipología de vivienda se encuentran consolidadas en Anexo 4: Resultados consolidados de todas las tipologías.

6.6.3 Indicadores de decisión

Para cada medida, se recogen 3 indicadores en base a los cuales se escogerán las mejores medidas a ser potencialmente implementadas. Se definen distintos criterios de decisión dependiendo de la perspectiva que se quiera abordar: financiera o ambiental.

6.6.3.1 Relación Beneficio / Costo

Se eligen las medidas con valor mayor a 1, lo cual indica que los beneficios del proyecto son mayores a los costos de inversión.

Tabla 23: Resumen Indicador: Relación Beneficio/Costo

RELACIÓN BENEFICIO/COSTO						
Tipología	med 1	med 3	med 4	med 5	ventana	calefactor (pellet)
1	0,17	0,01	-0,18	0,09	0,15	1,45
2	0,10	0,01	0,04	0,05	0,15	1,73
3	0,16	0,01	0,25	0,08	0,15	2,67
4	0,10	0,01	0,04	0,05	0,15	3,07
5	0,10	0,01	0,04	0,05	0,15	2,51
6	0,10	0,01	0,04	0,14	0,15	2,68
7	0,17	0,01	0,07	0,08	0,15	3,59
8	0,10	0,01	0,04	0,05	0,15	4,19
9	0,09	0,01	0,04	0,16	0,15	3,46
10	0,10	0,01	0,04	0,05	0,15	3,40
11	0,09	0,01	0,04	0,05	0,15	4,25

Fuente: elaboración propia

En base a este indicador la única medida conveniente, dado el estado actual de las viviendas, es la medida de recambio de calefactor a leña por uno a pellet. Se observa que el indicador mejora a mayor metraje de las viviendas, considerando que la capacidad de cubrir superficie es la misma en todos los casos ya que se considera la misma estufa. Cabe señalar que no se observa un patrón definido ya que el porcentaje del área total que representan las ventanas no es lineal, por lo que se afirma que el indicador Beneficio/Costo aumenta en la

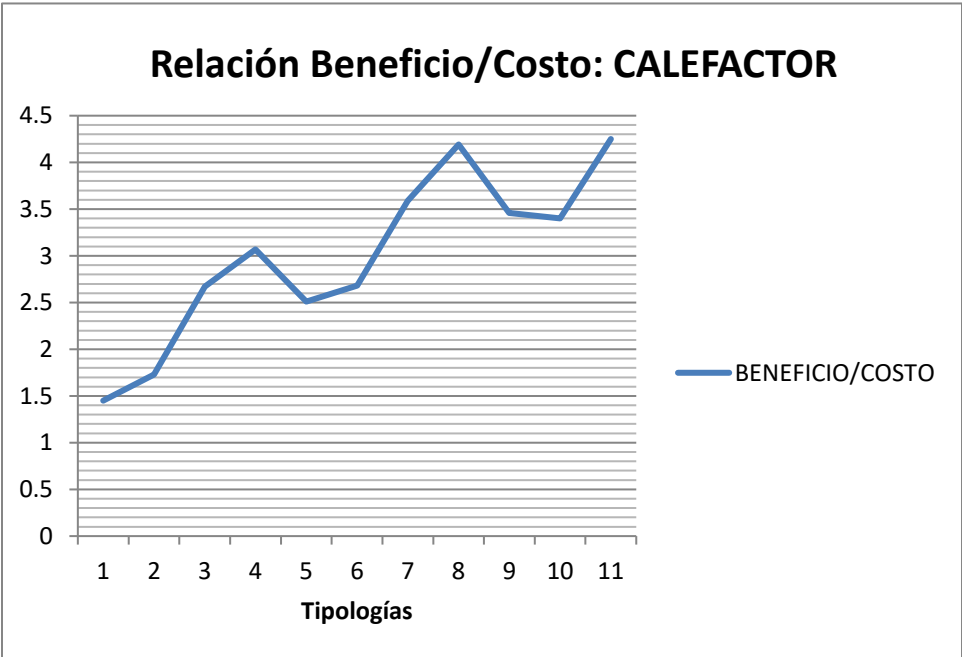
medida que aumente el metraje de la vivienda, pero no es posible definir un ratio de aumento que dependa del área o superficie total.

Tabla 24: Porcentaje de superficie de ventanas

Tipología	% Ventanas
1	9,1%
2	12,2%
3	13,3%
4	5,2%
5	7,7%
6	8,2%
7	11,0%
8	11,7%
9	17,9%
10	12,3%
11	16,4%

Fuente: elaboración propia

Ilustración 11: Calefactor, Gráfica Indicador: Relación Beneficio/Costo



Fuente: elaboración propia

Además, al ser el beneficio mayor que el costo, los indicadores financieros TIR, VAN y PAYBACK también resultan positivos, revisar Análisis financiero consolidado

Si bien el indicador resulta positivo para todas las viviendas, existen tipologías en que el tamaño o metraje total no justifica la utilización de la estufa a pellet dada su capacidad de diseño, por lo que no se recomienda para las tipologías 1 y 2 de 18 m² y 35 m² respectivamente.

Entre las medidas que buscan mejorar el coeficiente de transmitancia térmica de muros, la medida 3: aumentar envolvente, resulta la menos atractiva según este indicador. Además, la mejora del coeficiente de transmitancia térmica es marginal comparado con el costo de implementación de la propuesta:

- Para las tipologías 1, 3 y 7, el U se reduce un 4,5%, y el costo de implementación es 78% mayor que la medida 1, la cual es la medida de muro más conveniente con reducción del U de un 35%.
- Para las tipologías 2,4,5,6,8,9,10 y 11, el U se reduce un 3,8%, y el costo de implementación es 82% mayor que la medida 1 que cuenta con reducción de U del 23,4%.

De las medidas de eficiencia energética evaluadas para muros, la medida 1 es la que presenta la mejor Relación Beneficio/Costo, sin embargo, esta es menor a 1 por lo que no es conveniente, pero si se tuviese que elegir una medida para implementar en muro se escoge esta, ya que también presenta reducción en el coeficiente de transmitancia térmica de 35% y 23% según la tipología. Si bien, para la medida 5 la Relación Beneficio/Costo es similar y presenta una reducción mayor del coeficiente de transmitancia térmica, esta es marginal de acuerdo al costo de inversión de la medida 5 el cual es aproximadamente el doble que la medida 1.

6.6.3.2 Ahorro de Combustible

Se presentan los ahorros de combustible traducidos a porcentaje de [MWh] anual

Tabla 25: Resumen Indicador: Ahorro de Combustible [MWh]

AHORRO COMBUSTIBLE [MWh]						
Tipología	med 1	med 3	med 4	med 5	ventana	calefactor (pellet)
1	1,7%	0,2%	-3,9%	1,8%	1,7%	31,3%
2	0,9%	0,1%	0,7%	1,0%	2,1%	31,3%
3	1,4%	0,2%	4,6%	1,5%	2,1%	31,3%
4	1,5%	0,2%	1,3%	1,6%	1,4%	31,3%
5	1,2%	0,2%	1,0%	1,3%	1,7%	31,3%
6	1,2%	0,2%	1,0%	3,5%	1,8%	31,3%
7	1,6%	0,2%	1,4%	1,7%	1,9%	31,3%
8	1,0%	0,2%	0,8%	1,1%	4,0%	31,3%
9	0,7%	0,1%	0,6%	2,8%	2,7%	31,3%
10	0,9%	0,2%	0,8%	1,0%	2,2%	31,3%
11	0,8%	0,1%	0,7%	0,9%	2,6%	31,3%

Fuente: elaboración propia

La medida que genera un mayor ahorro de combustible en [MWh] necesarios para calentamiento también es la medida de recambio de calefactor. Se observa que para todas las tipologías, el porcentaje de ahorro de energía es el mismo. Esto se debe a que el software calcula el ahorro en base a la eficiencia de la estufa pellet respecto a la estufa a leña del caso base, con cuyo recambio se ahorra un 31,3% de energía.

Si se utiliza este mismo indicador traducido a [\$/año], el ahorro es mayor en la medida que la superficie a calefaccionar aumenta, y varía entre los \$86.000 y \$254.000 según tipología de vivienda:

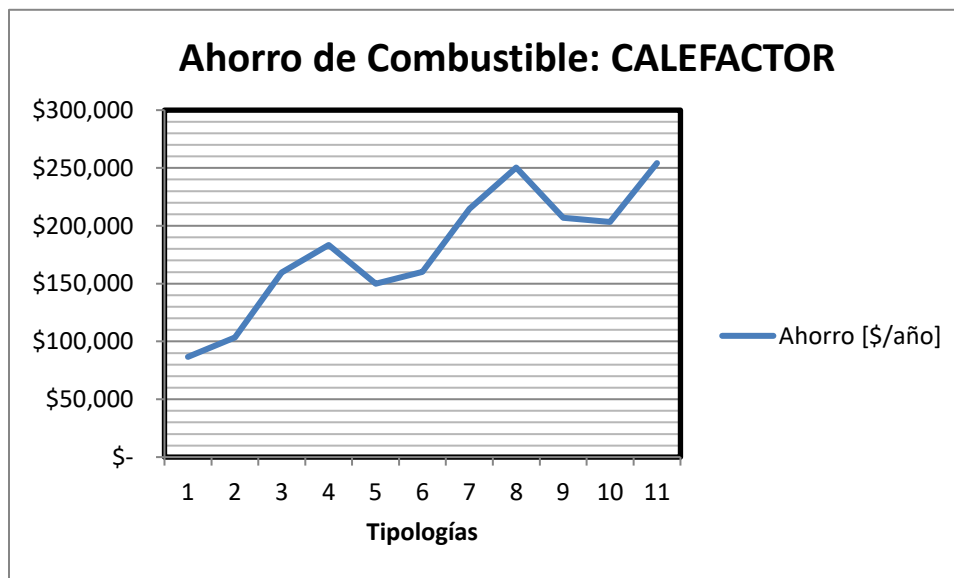
Tabla 26: Resumen Indicador: Ahorro de Combustible [\$/año]

AHORRO COMBUSTIBLE [\$/año]						
Tipología	med 1	med 3	med 4	med 5	ventana	calefactor (pellet)
1	\$ 4.496	\$ 577	\$ -10.024	\$ 4.743	\$ 4.294	\$ 86.670
2	\$ 2.706	\$ 444	\$ 2.271	\$ 2.969	\$ 6.351	\$ 103.525
3	\$ 6.835	\$ 877	\$ 21.940	\$ 7.211	\$ 10.053	\$ 159.672
4	\$ 8.163	\$ 1.341	\$ 6.851	\$ 8.957	\$ 7.585	\$ 183.389
5	\$ 5.504	\$ 904	\$ 4.620	\$ 6.040	\$ 7.766	\$ 150.046
6	\$ 5.711	\$ 938	\$ 4.794	\$ 16.601	\$ 8.638	\$ 160.198
7	\$ 10.174	\$ 1.305	\$ 9.250	\$ 10.733	\$ 12.109	\$ 214.578
8	\$ 7.566	\$ 1.243	\$ 6.351	\$ 8.303	\$ 29.941	\$ 250.353
9	\$ 4.502	\$ 739	\$ 3.779	\$ 17.071	\$ 16.634	\$ 207.024
10	\$ 5.690	\$ 934	\$ 4.776	\$ 6.244	\$ 13.590	\$ 203.206
11	\$ 5.915	\$ 971	\$ 4.965	\$ 6.491	\$ 19.743	\$ 254.220

Fuente: elaboración propia

Al buscar una tendencia para este indicador, este no tiene patrón definido, ya que ocurre lo mismo que con el indicador Relación Beneficio/Costo; el ahorro aumenta a medida que lo hace el metraje de la vivienda, sin embargo la ausencia de un patrón definido puede deberse al porcentaje del área total de la vivienda que representa el área de las ventanas.

Ilustración 12: Calefactor, Gráfica Indicador: Ahorro de Combustible



Fuente: elaboración propia

6.6.3.3 Ahorro de Emisiones

Según este indicador, todas las medidas para todas las tipologías generan ahorro, los cuales varían entre 11% al 39% dependiendo de la medida y tipología de vivienda. Por lo que cualquier medida por si sola (sin considerar viabilidad económica) resulta atractiva para reducir la emisión de CO₂ a la atmósfera. A continuación se muestra la reducción de emisiones en [ton CO₂/año]:

Tabla 27: Resumen Indicador: Ahorro Emisiones [ton CO₂/año]

AHORRO EMISIONES [ton CO ₂ /año]						
Tipología	med 1	med 3	med 4	med 5	ventana	calefactor (pellet)
1	0,5	0,4	0,3	0,5	0,5	1,4
2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	1,7
3	0,8	0,7	1	0,8	0,9	2,6
4	0,9	0,9	0,9	1	0,9	3
5	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	2,5
6	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	2,6
7	1,1	1	1,1	1,1	1,1	3,5
8	1,2	1,2	1,2	1,3	1,5	4,1
9	1	1	1	1,2	1,2	3,4
10	1	0,9	1	1	1,1	3,3
11	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	4,2

Fuente: elaboración propia

La misma información se presenta traducida a porcentaje de reducción de emisiones:

Tabla 28: Resumen Indicador: Ahorro Emisiones [%]

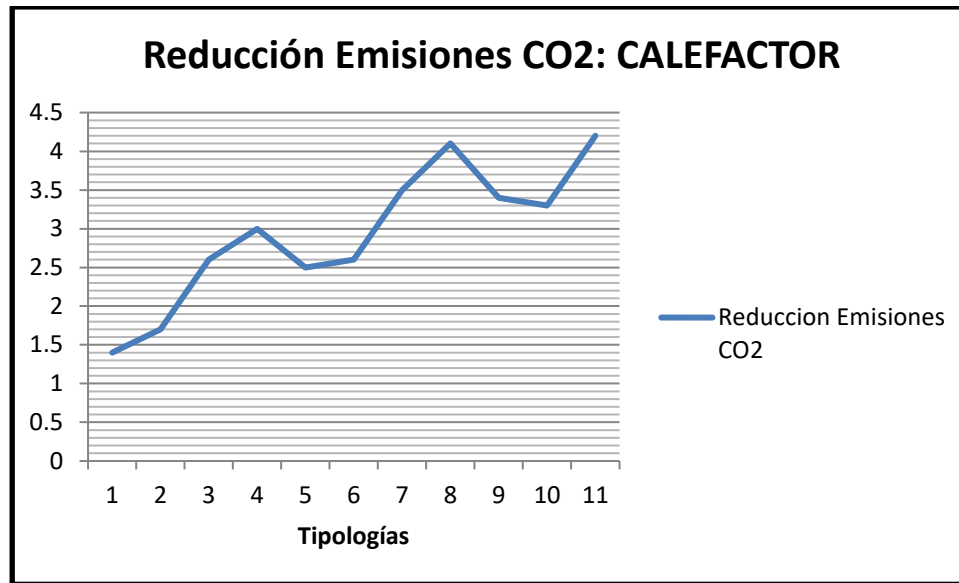
AHORRO EMISIONES						
Tipología	med 1	med 3	med 4	med 5	ventana	calefactor (pellet)
1	13,5%	10,8%	8,1%	13,5%	13,5%	37,8%
2	11,4%	11,4%	11,4%	11,4%	13,6%	38,6%
3	11,8%	10,3%	14,7%	11,8%	13,2%	38,2%
4	11,5%	11,5%	11,5%	12,8%	11,5%	38,5%
5	12,5%	10,9%	10,9%	12,5%	12,5%	39,1%
6	11,8%	10,3%	11,8%	13,2%	11,8%	38,2%
7	12,0%	10,9%	12,0%	12,0%	12,0%	38,0%
8	11,2%	11,2%	11,2%	12,1%	14,0%	38,3%
9	11,4%	11,4%	11,4%	13,6%	13,6%	38,6%
10	11,5%	10,3%	11,5%	11,5%	12,6%	37,9%
11	11,1%	11,1%	11,1%	11,1%	13,0%	38,9%

Fuente: elaboración propia

No obstante que todas las medidas generan una reducción en emisiones de CO₂, nuevamente el recambio de calefactor es la medida que tiene mayor impacto en este ítem, siendo para todas las tipologías del orden del 37% al 39%.

No se observa nuevamente un patrón de tendencia específico, pero el comportamiento de la curva se repite: a mayor metraje de las viviendas, mayor es la reducción de emisiones.

Ilustración 13: Calefactor, Gráfica Indicador: Ahorro de Emisiones



Fuente: elaboración propia

Se observa que para los 3 indicadores, la medida de recambio de calefactor tiene el mismo patrón de tendencia ya sea para Relación Beneficio/Costo, Ahorro de Combustible o Ahorro de Emisiones, lo cual es atribuible a que el modelo de la estufa a recambiar es el mismo para todas las tipologías de vivienda.

6.6.4 Resultados Casos Particulares

6.6.4.1 Resultados medida 2

Se modelan los 2 casos límite para la medida 2 que consiste en cambiar la envolvente existente por recubrimiento exterior de OSB y siding fibrocemento, correspondientes a las viviendas de menor y mayor metraje, es decir, las tipologías 1 y 11 respectivamente, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 29: Resumen Indicadores medida 2

Tipología	Costo	Beneficio/ Costo	Ahorro comb. [\$/año]	Ahorro comb. [MWh]	Ahorro emisiones [t CO ₂ /año]
1	\$ 509.290	-0,02	\$ -994	-2%	0
11	\$1.290.640	-0,01	\$ -1.643	-1%	0

Fuente: elaboración propia

Cabe señalar que la medida 2 había sido anteriormente descartada debido a que con el cambio de envolvente el coeficiente de transmitancia térmica aumenta en un 7,8% para las tipologías 1, 3 y 7, y aumenta un 6,5% para las restantes, por lo que la función de mejora de la red de resistencias no se ve concretada.

Se decide modelar 2 casos límite ya que los indicadores se comportan de manera ascendente, es decir, sus valores aumentan con el metraje de las viviendas, por lo que ambos casos pueden ser definidos como un rango de valores dentro del cual se encontrarían los indicadores para todas las tipologías. En consecuencia, los resultados para los 2 casos límites tanto en el aspecto financiero como ambiental no son positivos:

- La Relación Beneficio/Costo es negativa para ambos casos, ya que los beneficios son negativos, es decir no hay ganancia sino gastos a partir de la implementación de la medida, atribuible al mayor consumo de energía y combustible ya que las pérdidas de calor a través de muros aumentan.

- El Ahorro de Combustible es negativo, no existe ahorro en el gasto de energía y combustible para calefacción, sino lo contrario; se incurre en un gasto mayor de estos ítems ya que al tener mayor pérdida de calor a través de muro, se necesita más combustible para mantener la misma temperatura de confort.
- El Ahorro de Emisiones es nulo, ya que no se combustiona menos leña en ningún caso.

6.6.4.2 Resultados Viviendas sin aislación

Se presentan los indicadores de decisión para comparar el impacto de las medidas de eficiencia energética en el caso de que las viviendas no cuenten con la aislación de poliestireno expandido:

Tabla 30: Resumen Indicador: Relación Beneficio/Costo sin aislación

RELACION BENEFICIO/COSTO						
Tipología	med 1	med 3	med 4	med 5	ventana	calefactor (pellet)
1	1,14	0,14	-0,18	0,57	0,15	2,1
2	0,97	0,14	-0,06	0,48	0,15	2,61
3	1,09	0,13	0,68	0,54	0,15	2,7
4	1,04	0,15	0,45	0,52	0,15	6,21
5	1,02	0,14	0,44	0,51	0,15	4,63
6	1,01	0,14	0,43	0,59	0,15	4,88
7	1,12	0,14	0,51	0,55	0,15	5,68
8	0,97	0,14	0,42	0,49	0,23	7,1
9	0,9	0,13	0,39	0,57	0,15	5,11
10	0,96	0,14	0,41	0,48	0,15	5,59
11	0,92	0,13	0,39	0,46	0,15	6,53

Fuente: elaboración propia

Entre las medidas de eficiencia energética para muros, la que genera mayor mejora en el coeficiente de transmitancia térmica es la medida 1, mediante la cual este se reduce en 65% y 56% respectivamente dependiendo del espesor de la aislación original. Además, la medida 1 cuenta con la mejor Relación Beneficio/Costo, mayor o cercano a 1 en todas las tipologías.

También se observa que la medida de recambio de calefactor tiene una Relación Beneficio/Costo significativamente mayor a 1, pero considerando que la inversión inicial de la estufa a pellet también es elevada, se recomienda escoger el recambio de calefactor por sobre la medida 1 de aislación para aquellas tipologías cuyos costos de inversión de ambas medidas sean iguales, ya que así se escogerá la que tiene mayor Relación Beneficio/Costo. Lo anterior ocurre para las tipologías 4, 6, 7, 8, 10 y 11, es decir, para estas viviendas conviene recambiar el calefactor ya que la Relación Beneficio/Costo es mayor, y la inversión inicial es menor de lo que cuesta implementar la medida 1 de muro. Para las tipologías restantes; 1, 2, 3, 4 y 9 se recomienda optar al modelo de financiamiento para la mejora de vivienda y de esta forma poder implementar la medida 1 de muro.

A continuación se muestra el potencial gasto de combustible en que incurrirían los propietarios de las viviendas si estas no estuviesen aisladas:

Tabla 31: Gasto Combustible viviendas sin aislación

Tipología	Consumo comb. base [kg/año]	Consumo comb. con aisl. [kg/año]	Potencial gasto comb.
1	3128	2158,3	44,9%
2	3889,6	2578	50,9%
3	6061,9	3976,1	52,5%
4	9237,3	4566,7	102,3%
5	6885,7	3736	84,3%
6	7257,2	3989,2	81,9%
7	8448,1	5343	58,1%
8	10563,6	6234,3	69,4%
9	7611,4	5155,3	47,6%
10	8317,3	5061,6	64,3%
11	9715,1	6330,6	53,5%

Fuente: elaboración propia

Se extrae que el aumento en el gasto depende de la tipología y probablemente de la superficie total de las ventanas, y este aumento va desde el 44% hasta el 102%.

6.6.5 Resultados Sensibilización Precio del Pellet

Se realiza el Análisis de Sensibilidad del precio del pellet para cada tipología, sobre el repago de capital, para verificar hasta qué punto podría aumentar el precio del pellet y que el recambio siga siendo conveniente. Se ingresan los parámetros:

- Rango de sensibilidad : 25%
- Umbral: 18 años, considerando el horizonte del proyecto de 20 años

Ilustración 14: Resultados Sensibilización precio del pellet

Análisis de Riesgo y Sensibilidad RETScreen - Proyecto de medición de la eficiencia energética						
Análisis de sensibilidad						
Efectúe análisis sobre	Repago - capital					
Rango de sensibilidad	25%					
Umbral	18	año				
			Costo de combustible - caso propuesto			CLP
Costo de combustible - caso base	308.708	360.159	411.610	463.062	514.513	
CLP	-25%	-13%	0%	13%	25%	
463.976	-25%	3,7	5,3	9,5	> proyecto	> proyecto
541.305	-13%	2,6	3,2	4,4	6,8	15,7
618.634	0%	1,9	2,3	2,9	3,7	5,3
695.963	13%	1,6	1,8	2,1	2,6	3,2
773.293	25%	1,3	1,5	1,7	1,9	2,3

Para todas las tipologías, se observa el mismo comportamiento: la medida de recambio de calefactor deja de ser conveniente desde que el pellet aumenta de precio en un 13%, es decir, desde que su precio sube de los \$158 por kilogramo.

7 Conclusiones

7.1 Mejor medida según indicadores

Desde el modelamiento realizado para las 11 tipologías de vivienda se extrae lo siguiente:

Entre la totalidad de medidas analizadas, la que resulta más eficiente a nivel energético y conveniente financieramente es la medida de recambio de calefactor por una estufa a pellet. Este recambio es susceptible de financiamiento por parte de los usuarios postulantes al Programa de Recambio de Calefactores, por lo que es factible su potencial ejecución en el siguiente periodo o llamado a postulación por parte de la SEREMI del Ministerio de Medio Ambiente en 2019.

Por otro lado, los resultados del modelamiento permiten justificar la existencia de este beneficio por parte del Estado, ya que desde el punto de vista financiero, la inversión se ve recuperada entre los años 2 y 7 dependiendo del tamaño de la vivienda, la Relación Beneficio/Costo es positiva así como también los demás indicadores de viabilidad financiera, y desde la perspectiva ambiental, la reducción en el uso de leña y por ende la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera también resulta atractiva. Sin embargo, se recomienda que exista disponibilidad de más de un modelo de estufa a pellet dependiendo del tamaño de la vivienda, ya que para algunas tipologías resulta excesivo el recambio por una estufa de potencia mucho mayor a la requerida.

Una observación respecto a la medida del recambio de calefactor es el precio del pellet, ya que la implementación de la medida deja de ser conveniente cuando el precio varía a partir del 13%. Lo anterior quiere decir que considerando el precio del pellet de \$140 por kilogramo, si este aumenta a \$158 por kilogramo, la inversión se recupera en un periodo mayor al horizonte del proyecto. Considerando que el precio del combustible pellet en la región de Los Lagos varía desde \$140 a \$200 por kilogramo dependiendo del volumen de compra, entonces se concluye que, si bien es una medida con buenos indicadores según el costo de inversión, el costo de mantenimiento de la tecnología pellet puede variar en el tiempo considerando la masificación de las estufas y por ende al aumento de la demanda

del combustible lo que pueden provocar aumento de precio. En consecuencia, considerando la alta sensibilidad al precio del pellet, la implementación de la medida del recambio de calefactor podría resultar no conveniente en un futuro si es que el precio aumenta. Por lo anterior, se recomienda como solución de mitigación al alza de precio del pellet, la estructura de una cooperativa para la compra del combustible, similar a la compra asociativa de leña que ya está siendo implementada en la región de Los Lagos con buenos resultados. Esto permitirá a los vecinos asociarse para realizar la compra de un gran volumen de pellet a productores certificados, lo cual asegurará menor precio por kilogramo y buena calidad del combustible. Otra observación es la importancia de la condición “CO₂ neutro” del pellet; el cambio en el uso de leña a pellet para reducir emisiones tiene sentido si se procura utilizar pellet cuyo fabricante cuente con esta práctica, es decir, si se utilizan ciertas hectáreas de bosque para producir pellet, se debe reforestar en igual o mayor medida para neutralizar la huella de carbono de la actividad.

La equivalencia en ahorro de emisiones de CO₂ al año si se implementase la medida de Recambio de Calefactor en las viviendas considerando un total de 506 unidades ya que no se implementa en las tipologías 1 y 2, es de:

- 137,3 hectáreas de bosques absorbiendo carbón
- 274,6 autos no utilizados
- 550 toneladas de desechos reciclados

Lo anterior corresponde a 2362 toneladas de leña al año sin utilizar, o a 23622 varas, es decir, el equivalente al consumo promedio de 758 viviendas del sector C3, lo cual puede tener influencia en la disminución de la demanda de leña extraída ilegalmente desde la ribera del río Maullín a través de la tala de árboles y especies nativas y también puede contribuir directamente a la mejora en la calidad de aire.

Entre las medidas de eficiencia energética evaluadas para muro, se concluye que lo más conveniente es concentrar los recursos en aislación térmica de las paredes, ya que es una medida con costo de material relativamente baratos en comparación a mejorar o cambiar la envolvente lo cual representa el doble de costo de inversión, además, es el ítem de aislación el que más contribuye a la mejora del coeficiente de transmitancia térmica ya que los

materiales aislantes poseen mayor resistencia a la transferencia de calor que lo materiales utilizados para recubrimientos interior y exterior de paredes.

Respecto de la medida de cambio de ventanas de vidrio simple por vidrio termopanel, esta opción se descarta ya que presenta una Relación Beneficio/Costo menor a 1, debido a su alto costo de implementación, a pesar de que el coeficiente de transmitancia térmica de las ventanas se reduce en un 45%.

7.2 Conclusiones medida 2

La medida 2 que consistía en cambiar la envolvente existente de pino impregnado por plancha de OSB y recubrimiento exterior de siding fibrocemento se descartó al calcular el nuevo coeficiente de transmitancia térmica, el cual aumentaba en un 7,8% y 6.5% respectivamente dependiendo del espesor original del aislante.

No obstante, se ejecutó el modelamiento en RETScreen para los casos límite: las viviendas con menor y mayor metraje, tipologías 1 y 11 respectivamente. Al consolidar los resultados, todos los indicadores fueron negativos por lo que la medida no es conveniente. Por lo anterior, se recomienda analizar el comportamiento del coeficiente de transmitancia térmica antes de optar a un subsidio del área de mejora de vivienda, ya que esto no cuenta como requisito en ninguno, y queda evidenciado que el cambio de envolvente por sí sola no garantiza una mejora en este coeficiente, sino lo contrario en algunos casos, por lo que el ejercicio de calcular previamente el efecto de la medida sobre el coeficiente de transmitancia térmica podría evitar que los recursos provenientes de estos subsidios no sean aprovechados al máximo. La mejora del coeficiente de transmitancia térmica depende del material de la nueva envolvente, pero según el Manual para Certificación Energética de Viviendas, la combinación de plancha de OSB y siding fibrocemento es la más recomendada por su duración y utilidad, sin embargo queda en evidencia que no es aplicable para todas las zonas térmicas de Chile.

7.3 Conclusiones para vivienda sin aislación y herramienta de diagnostico

Los casos de vivienda sin aislación no están identificados dentro del total de las viviendas, ya que no existe registro en la Dirección de Obras Municipales. Sin embargo, a través del análisis se concluye que una medida constructiva simple como poner poliestireno expandido como agente aislante hace gran diferencia en el coeficiente de transmitancia térmica de muros, lo que se ve directamente reflejado en el gasto de combustible para calefacción.

Se propone como herramienta de diagnóstico para detectar las viviendas sin aislación, revisar el gasto de combustible anual promedio de la vivienda; todas cuentan con la misma infraestructura, de modo que las viviendas que se escapen del rango normal de gasto de combustible, en este caso leña, serán las que no cuentan con aislación de muro.

7.4 Conclusión General y Recomendaciones

Respecto a las ventanas, las viviendas con mayor porcentaje de ventanas en relación al área de envolvente total tienen mayor consumo de combustible lo que se atribuye a una mayor pérdida de calor a través de los vidrios. Sin embargo, la medida de cambio de ventanas de vidrio simple por ventanas de termopanel no resulta conveniente debido al alto costo de implementación en que se debe incurrir, y para viviendas que son pequeñas en superficie no generan un ahorro significativo.

De las medidas de eficiencia energética que fueron evaluadas para mejorar muros, se concluye que la intervención que tiene mayor impacto en la mejora del coeficiente de transmitancia térmica es el aumento del agente aislante que va dentro de la pared. Además, esta es la medida más barata de ejecutar, por lo que la aislación tiene vital importancia en soluciones constructivas para disminuir las pérdidas de calor a través de las paredes. Se recomienda enfocar los recursos del Estado provenientes de subsidios en esta área, ya que actualmente los propietarios de vivienda pueden ser beneficiados con el subsidio de Mejoramiento de Vivienda del MINVU, pero consiste en un monto que puede ser utilizado para diversas mejoras de habitabilidad, por lo que es conveniente que exista un modelo de financiamiento dirigido específicamente al área de aislación térmica de la vivienda.

8 Anexos

8.1 Anexo 1: Descripción tipologías de vivienda

8.1.1 Tipología 2

Tabla 32: Descripción Tipología 2

Cantidad homologables	323	
Superficie	25,78 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	1	
Modelo	pareada	
Superficie envolvente	31,7 m ²	
Superficie ventanas	3,86 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 50 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

8.1.2 Tipología 3

Tabla 33: Descripción Tipología 3

Cantidad homologables	20	
Superficie	35,03 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	1	
Modelo	pareada	
Superficie envolvente	45,9 m ²	
Superficie ventanas	6,11 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 40 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

8.1.3 Tipología 4

Tabla 34: Descripción Tipología 4

Cantidad homologables	155	
Superficie	39,13 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	2	
Modelo	Individual	
Superficie envolvente	45,3 m ²	
Superficie ventanas	4,61 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 50 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

8.1.4 Tipología 5

Tabla 35: Descripción Tipología 5

Cantidad homologables	125	
Superficie	43,41 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	2	
Modelo	pareada	
Superficie envolvente	31,4 m ²	
Superficie ventanas	4,72 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 50 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

8.1.5 Tipología 6

Tabla 36: Descripción Tipología 6

Cantidad homologables	27	
Superficie	46,34 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	2	
Modelo	pareada	
Superficie envolvente	32,7 m ²	
Superficie ventanas	5,25 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 50 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

8.1.6 Tipología 7

Tabla 37: Descripción Tipología 7

Cantidad homologables	111	
Superficie	50,38 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	1	
Modelo	pareada	
Superficie envolvente	66,6 m ²	
Superficie ventanas	7,36 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 40 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

8.1.7 Tipología 8

Tabla 38: Descripción Tipología 8

Cantidad homologables	46	
Superficie	51,72 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	2	
Modelo	Individual	
Superficie envolvente	47,04 m ²	
Superficie ventanas	10,36 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 50 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

8.1.8 Tipología 9

Tabla 39: Descripción Tipología 9

Cantidad homologables	14	
Superficie	53,51 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	2	
Modelo	Pareada	
Superficie envolvente	28,9 m ²	
Superficie ventanas	10,11 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 50 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

8.1.9 Tipología 10

Tabla 40: Descripción Tipología 10

Cantidad homologables	2	
Superficie	61,92 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	2	
Modelo	Pareada	
Superficie envolvente	34,2 m ²	
Superficie ventanas	8,26 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 50 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

8.1.10 Tipología 11

Tabla 41: Descripción Tipología 11

Cantidad homologables	6	
Superficie	65,98 m ²	
Altura	2,55 m ²	
Pisos	2	
Modelo	Pareada	
Superficie envolvente	37,3 m ²	
Superficie ventanas	12 m ²	
Estructura de Muros	Envolvente	Pino impregnado traslapado ¾"
	Aislación	Poliestireno expandido 50 mm
	Revestimiento	Yeso Cartón 10 mm
Estructura de Techo	Techumbre	Zincalum 0,4 mm
	Aislación	Lana de vidrio 140 mm
	Cielo Raso	Yeso cartón 10 mm

8.2 Anexo 2: Descripción del Modelamiento en RETScreen

8.2.1 Modelo de Energía

8.2.1.1 Combustibles y horarios

Se ingresan los tipos de combustible a utilizar en las propuestas:

Tabla 42: Precio de Combustibles

Combustible	Definición en modelamiento	Unidad	Precio [\$/kg]
Leña ¹³	Tipo de combustible 2	kg	120
Pellet ¹⁴	Biomasa	kg	140

El combustible de referencia utilizado para todas las medidas es la electricidad definida por defecto en el software, para la cual se ingresa el costo de 122,15 [\$/kWh]¹⁵.

Para la configuración de temperatura de confort se ingresa:

Tabla 43: Temperatura de Confort

Temperatura	[°C]
Calefacción ambiental	18,5
Cambio calentamiento/enfriamiento	14

La elección de las temperaturas de calefacción ambiental y enfriamiento respectivamente, permite que el modelamiento se realice sobre la base de una temporada de calefacción de 295 días al año, dejando los restantes 70 días no calefaccionados correspondientes a la temporada de verano o acondicionamiento de aire.

¹³ Precio leña: desde Medición del Consumo Nacional de Leña y otros Combustibles Sólidos derivados de la madera.

¹⁴ Precio pellet: desde Catálogo en línea Homecenter Sodimac.

¹⁵ Precio electricidad: desde Tarifas de Suministro Eléctrico SAESA 2018 para la ciudad de Llanquihue.

Se define el horario de calefacción de 14 horas por día, 7 días a la semana, considerando el uso real de la estufa.

Ilustración 15: Horario Uso de Calefacción

Combustible		Tipo de combustible 1	Tipo de combustible 2	Tipo de combustible 3
Tipo de combustible		Electricidad	Combustible definido por el usuario	Biomasa
Unidad - Consumo combustible		MWh	kg	t
Unidad - Precio combustible		CLP/kWh	CLP/kg	CLP/t
Precio del combustible		122,150	120,000	140.000,000

Horario	Unidad	Horario 1	Horario 2	Horario 3
Descripción		24/7	diario	Ocupado
Temperatura - calefacción ambiental	°C	18,5	18,5	Ocupado
Temperatura - aire acondicionado	°C			
Temperatura - desocupado	+/-°C		No ocupado 2,0	
Tasa de ocupación - diario		h/d	Ocupado h/d	
Lunes		24	14,0	
Martes		24	14,0	
Miércoles		24	14,0	
Jueves		24	14,0	
Viernes		24	14,0	
Sábado		24	14,0	
Domingo		24	14,0	
Tasa de ocupación - anual	h/año %	8.760 100%	5.110 58%	
Temperatura de cambio calentamiento/enfriamiento	°C		14,0	
Duración de la temporada de calefacción	d		295	
Duración de la temporada de acondicionamiento de air	d		70	

Comenzar	Modelo de Energía	Análisis de Costos	Análisis de Emisiones	Análisis Financiero	Análisis de Riesgo	Herramientas
----------	--------------------------	--------------------	-----------------------	---------------------	--------------------	--------------

8.2.1.2 Características de la instalación

8.2.1.2.1 Sistema de Calefacción

Se ingresan los sistemas y/o dispositivos actuales en la vivienda y los que pertenecen a las propuestas, con la eficiencia estacional y costos respectivos.

Para el caso propuesto, se utiliza el dispositivo *estufa a pellet*¹⁶

Ilustración 16: Sistema de Calefacción

RETScreen ×






Sistema de calefacción

1 2 3 4 5

Descripción

estufa

		Caso base	Caso propuesto
Tipo de combustible		Tipo de combustible 2	Tipo de combustible 3
Combustible		Combustible definido por el usuario	Biomasa
Eficiencia estacional	%	55	80
Costos iniciales incrementales	CLP		650.000
Ahorros incrementales O y M	CLP		

¹⁶ Estufa a pellet desde catálogo Amesti: modelo Italy 8100

3.6.2.2.2 Cobertura de edificios

Se caracteriza la envolvente térmica según planos de edificación de cada tipología de vivienda¹⁷ para el caso base y caso propuesto con los parámetros:

- áreas de muros
- coeficiente de transmitancia térmica U medido en $[W/m^2 \cdot ^\circ C]$
- costo inicial de la medida propuesta

Se modelan las pérdidas de calor a través de techos y ventanas, ingresando los valores de áreas y coeficientes de transmitancia térmica respectivos y la infiltración de aire natural por paredes, puertas y ventanas.

Ilustración 17: Cobertura de Edificios

RETScreen

Cobertura de edificios Descripción

1 2 3 4 5 medida 1 envolvente

	Caso base				Caso propuesto					
Norte del edificio	0				0				<input checked="" type="checkbox"/> Caso base = caso propuesto	
Horario	Horario 2				Horario 2					
Descripción	diario				diario					
Cobertura de edificios									Costos iniciales incrementales	
		Norte	Este	Sur	Oeste	Norte	Este	Sur	Oeste	
Paredes										<input type="checkbox"/> Caso base = caso propuesto
Área	m ²	7,6955	0	7,0855	14,025	7,6955	0	7,0855	14,025	
Valor-U	(W/m ²)/°C	0,7736703	0,7736703	0,7736703	0,7736703	0,5024583	0,5024583	0,5024583	0,5024583	CLP 286.332
<input checked="" type="checkbox"/> Ventana										<input checked="" type="checkbox"/> Caso base = caso propuesto
Área	m ²	1	0	1,61	0	1	0	1,61	0	
Valor-U	(W/m ²)/°C	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	CLP
Coefficiente de ganancia de calor solar						0	0	0	0	
<input type="checkbox"/> Sombreado solar - temporada de uso										
<input type="checkbox"/> Puertas										
<input checked="" type="checkbox"/> Techo										<input checked="" type="checkbox"/> Caso base = caso propuesto
Área	m ²	18				18				
Valor-U	(W/m ²)/°C	0,71				0,71				CLP
<input type="checkbox"/> Piso										
<input type="checkbox"/> Pared - bajo el nivel del suelo										
<input type="checkbox"/> Piso - bajo el nivel del suelo										

[Siguiente](#) [Siguiente](#)

¹⁷ Para descripción y parámetros de envolvente por tipología de vivienda, revisar Descripción de tipologías de vivienda

Se ingresa en el ítem *Resumen del Modelo de Energía* el punto de referencia para el modelo de energía, traducido como el consumo energético promedio para una vivienda del metraje establecido para cada tipología¹⁸, el cual se establece en 105 [kWh/m²]. Se utiliza el mismo valor independiente de la tipología de vivienda ya que se encuentra estandarizado sobre cada metro cuadrado para poder ser utilizado en metrajes diferentes de vivienda.

8.2.2 Análisis de Emisiones

Para el cálculo de las emisiones se utiliza el método 3, y se ingresa el valor del factor de emisión del dióxido de carbono¹⁹ para los tipos de combustible definidos.

Ilustración 18: Análisis de Emisiones

Análisis de Reducción de Emisiones RETScreen - Proyecto de medición de la eficiencia energética													
☑ Análisis de Emisiones													
<input type="radio"/> Método 1 <input type="radio"/> Método 2 <input checked="" type="radio"/> Método 3		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Potencial de calentamiento global del GEI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25</td> <td>tons CO2 = 1 ton CH4</td> </tr> <tr> <td>298</td> <td>tons CO2 = 1 ton N2O</td> </tr> </tbody> </table>						Potencial de calentamiento global del GEI		25	tons CO2 = 1 ton CH4	298	tons CO2 = 1 ton N2O
Potencial de calentamiento global del GEI													
25	tons CO2 = 1 ton CH4												
298	tons CO2 = 1 ton N2O												
Resumen del sistema GEI en caso base (Línea de base)													
Tipo de combustible	Mezcla de combustible %	Factor emisión de CO2 kg/GJ	Factor emisión de CH4 kg/GJ	Factor emisión de N2O kg/GJ	Consumo de combustible MWh	Factor emisión de GEI tCO2/MWh	Emisiones GEI tCO2						
Combustible definido por el usuario	100,0%	112,0	0,0000	0,0000	9	0,403	3,7						
Total	100,0%	112,0	0,0000	0,0000	9	0,403	3,7						
Resumen sistema GEI caso propuesto (Proyecto de medición de la eficiencia energética)													
Tipo de combustible	Mezcla de combustible %	Factor emisión de CO2 kg/GJ	Factor emisión de CH4 kg/GJ	Factor emisión de N2O kg/GJ	Consumo de combustible MWh	Factor emisión de GEI tCO2/MWh	Emisiones GEI tCO2						
Biomasa	100,0%	100,0	0,0000	0,0000	6	0,360	2,2						
Total	100,0%	100,0	0,0000	0,0000	6	0,360	2,2						

¹⁸ Consumo energético promedio para cada tipología de vivienda se extrae desde *Consumo de Energía a nivel residencial en Chile y Análisis de Eficiencia Energética en Calefacción*. (Romero, 2011).

¹⁹ Factor de emisión CO₂ desde IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Ilustración 20: Viabilidad Financiera

Viabilidad financiera		
TIR antes de impuestos - capital	%	0,4%
TIR antes - impuestos - activos	%	0,4%
TIR luego de impuestos - capital	%	0,4%
TIR luego de impuestos - impuestos - activos	%	0,4%
Pago simple de retorno del capital	año	33,0
Repago - capital	año	19,3
Valor Presente Neto (VPN)	CLP	-1.974.755
Ahorros anuales en ciclo de vida	CLP/año	-264.378
Relación Beneficio-Costo		0,33
Costo de reducción de GEI	CLP/tCO2	180.587

8.2.4 Herramientas

En esta sección se ingresan las especificaciones para los combustibles utilizados en el *Modelo de Energía*.

En la opción *Poder calorífico y precio del combustible* se define el combustible Biomasa, con poder calorífico predeterminado por el software, medido en [MJ/kg], y se ingresa el precio de la tonelada de pellet:

Ilustración 21: Poder calorífico y precio del combustible

Poder calorífico y precio del combustible		
Tipo de combustible	Biomasa	
Poder calorífico	MJ/kg	18,4
	MJ/kg	18
Precio del combustible	CLP/t	140000,00
	CLP/kWh	27,326
	CLP/MWh	27325,75
	CLP/GJ	7590,49
	CLP/mmBtu	8008,39
	CLP/termia	800,84

Del mismo modo, en la opción Combustible definido por el usuario, se añaden las características de la leña: poder calorífico inferior y factor de emisión CO₂.

Ilustración 22: Combustible definido por usuario

Combustible definido por el usuario			
Tipo de combustible	Combustible definido por el usuario leña		
	<input type="radio"/> Unidades de energía <input checked="" type="radio"/> Unidades de poder calorífico		
Poder Calorífico Inferior (PCI)	MJ/kg	15,3	
Unidad - Consumo combustible		kg	
Unidad - Precio combustible		CLP/kg	
Factor de emisión CO ₂	kg/GJ		112
Factor de emisión CH ₄	kg/GJ		
Factor de emisión N ₂ O	kg/GJ		

8.3 Anexo 3: Costo Total por tipología

8.3.1 Costos Tipología 1

8.3.1.1 Costo medida 1 para muro, tipología 1

Se aumenta la aislación, adicionando plancha de poliestireno expandido de 30 [mm] de espesor a la plancha existente de 40 [mm] de espesor.

Dentro de los costos de materiales, se incluyen las planchas de yeso cartón que deben ser reemplazadas por planchas nuevas al reacondicionar el revestimiento interior ya que al retirarlo no es posible reutilizar.

Tabla 44: Costo medida 1, tipología 1

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.260
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 84.690
COSTO MO				\$ 201.642
COSTO TOTAL				\$ 286.332

8.3.1.2 Costo medida 3 para muro, tipología 1

Se aumenta la envolvente, adicionando plancha de OSB y siding fibrocemento al revestimiento exterior de pino impregnado.

Tabla 45: Costo medida 3, tipología 1

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	-
poliestireno exp.	0,043	40	0,04	-
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 307.648
COSTO MO				\$ 201.642
COSTO TOTAL				\$ 509.290

8.3.1.3 Costo medida 4 para muro, tipología 1

Se aumenta la aislación, adicionando plancha de poliestireno expandido de 30 [mm] de espesor a la plancha existente de 40 [mm] de espesor, y se cambia el revestimiento exterior de pino impregnado por plancha de OSB y siding fibrocemento.

Se considera el costo de las nuevas planchas de yeso cartón del revestimiento interior.

Tabla 46: Costo medida 4, tipología 1

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.260
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 392.338
COSTO MO				\$ 201.642
COSTO TOTAL				\$ 593.980

8.3.1.4 Costo medida 5 para muro, tipología 1

Se aumenta la aislación, adicionando plancha de poliestireno expandido de 30 [mm] de espesor a la plancha existente de 40 [mm] de espesor. Además se aumenta la envolvente, adicionando al revestimiento exterior de pino impregnado una plancha de OSB y siding fibrocemento.

Se considera el costo de las nuevas plachas de yeso carton del revestimiento interior.

Tabla 47: Costo medida 5, tipología 1

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.260
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 392.338
COSTO MO				\$ 201.642
COSTO TOTAL				\$ 593.980

8.3.1.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 1

Se cambian las ventanas existentes de vidrio simple por ventanas de termopanel, cuyo costo total incluye instalación.

Superficie total de ventanas: 2,61 m²

Costo ventanas = 2,61*120.000 = \$313.200

8.3.2 Costos Tipología 2

8.3.2.1 Costo medida 1 para muro, tipología 2

Tabla 48: Costo medida 1, tipología 2

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 85.761
COSTO MO				\$ 222.345
COSTO TOTAL				\$ 308.106

8.3.2.2 Costo medida 3 para muro, tipología 2

Tabla 49: Costo medida 3, tipología 2

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	-
poliestireno exp.	0,043	50	0,05	-
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT				\$ 339.234
COSTO MO				\$ 222.345
COSTO TOTAL				\$ 561.579

8.3.2.3 Costo medida 4 para muro, tipología 2

Tabla 50: Costo medida 4, tipología 2

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 424.996
COSTO MO				\$ 222.345
COSTO TOTAL				\$ 647.340

8.3.2.4 Costo medida 5 para muro, tipología 2

Tabla 51: Costo medida 5, tipología 2

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 424.996
COSTO MO				\$ 222.345
COSTO TOTAL				\$ 647.340

8.3.2.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 2

Superficie total de ventanas: 3,86 m²

Costo ventanas = 3,86*120.000 = \$463.200

8.3.3 Costos Tipología 3

8.3.3.1 Costo medida 1 para muro, tipología 3

Tabla 52: Costo medida 1, tipología 3

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.260
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 135.050
COSTO MO				\$ 321.549
COSTO TOTAL				\$ 456.599

8.3.3.2 Costo medida 3 para muro, tipología 3

Tabla 53: Costo medida 3, tipología 3

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	
poliestireno exp.	0,043	40	0,04	
pino impregnado	0,104	16	0,016	
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 490.591
COSTO MO				\$ 321.549
COSTO TOTAL				\$ 812.140

8.3.3.3 Costo medida 4 para muro, tipología 3

Tabla 54: Costo medida 4, tipología 3

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.260
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 625.642
COSTO MO				\$ 321.549
COSTO TOTAL				\$ 947.190

8.3.3.4 Costo medida 5 para muro, tipología 3

Tabla 55: Costo medida 5, tipología 3

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$ /m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.260
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 625.642
COSTO MO				\$ 321.549
COSTO TOTAL				\$ 947.190

8.3.3.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 3

Superficie total de ventanas: 6,11 m²

Costo ventanas = 6,11*120.000 = \$733.200

8.3.4 Costos Tipología 4

8.3.4.1 Costo medida 1 para muro, tipología 4

Tabla 56: Costo medida 1, tipología 4

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 239.733
COSTO MO				\$ 621.530
COSTO TOTAL				\$ 861.263

8.3.4.2 Costo medida 3 para muro, tipología 4

Tabla 57: Costo medida 3, tipología 4

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	-
poliestireno exp.	0,043	50	0,05	-
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 948.277
COSTO MO				\$ 621.530
COSTO TOTAL				\$ 1.569.807

8.3.4.3 Costo medida 4 para muro, tipología 4

Tabla 58: Costo medida 4, tipología 4

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 1.188.010
COSTO MO				\$ 621.530
COSTO TOTAL				\$ 1.809.540

8.3.4.4 Costo medida 5 para muro, tipología 4

Tabla 59: Costo medida 5, tipología 4

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 1.188.010
COSTO MO				\$ 621.530
COSTO TOTAL				\$ 1.809.540

8.3.4.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 4

Superficie total de ventanas: 4,61 m²

Costo ventanas = 4,61 * 120.000 = \$553.200

8.3.5 Costos Tipología 5

8.3.5.1 Costo medida 1 para muro, tipología 5

Tabla 60: Costo medida 1, tipología 5

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 165.996
COSTO MO				\$ 430.360
COSTO TOTAL				\$ 596.356

8.3.5.2 Costo medida 3 para muro, tipología 5

Tabla 61: Costo medida 3, tipología 5

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	-
poliestireno exp.	0,043	50	0,05	-
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 656.606
COSTO MO				\$ 430.360
COSTO TOTAL				\$ 1.086.966

8.3.5.3 Costo medida 4 para muro, tipología 5

Tabla 62: Costo medida 4, tipología 5

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 822.602
COSTO MO				\$ 430.360
COSTO TOTAL				\$ 1.252.962

8.3.5.4 Costo medida 5 para muro, tipología 5

Tabla 63: Costo medida 5, tipología 5

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 822.602
COSTO MO				\$ 430.360
COSTO TOTAL				\$ 1.252.962

8.3.5.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 5

Superficie total de ventanas: 4,72 m²

Costo ventanas = 4,72*120.000 = \$566.400

8.3.6 Costos Tipología 6

8.3.6.1 Costo medida 1 para muro, tipología 6

Tabla 64: Costo medida 1, tipología 6

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 173.205
COSTO MO				\$ 449.050

8.3.6.2 Costo medida 3 para muro, tipología 6

Tabla 65: Costo medida 3, tipología 6

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	-
poliestireno exp.	0,043	50	0,05	-
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 685.122
COSTO MO				\$ 449.050
COSTO TOTAL				\$ 1.134.172

8.3.6.3 Costo medida 4 para muro, tipología 6

Tabla 66: Costo medida 4, tipología 6

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 858.327
COSTO MO				\$ 449.050
COSTO TOTAL				\$ 1.307.377

8.3.6.4 Costo medida 5 para muro, tipología 6

Tabla 67: Costo medida 5, tipología 6

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 858.327
COSTO MO				\$ 449.050
COSTO TOTAL				\$ 1.307.377

8.3.6.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 6

Superficie total de ventanas: 5,25 m²

Costo ventanas = 5,25*120.000 = \$630.000

8.3.7 Costos Tipología 7

8.3.7.1 Costo medida 1 para muro, tipología 7

Tabla 68: Costo medida 1, tipología 7

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.260
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 195.925
COSTO MO				\$ 466.487
COSTO TOTAL				\$ 662.412

8.3.7.2 Costo medida 3 para muro, tipología 7

Tabla 69: Costo medida 3, tipología 7

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	-
poliestireno exp.	0,043	40	0,04	-
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 711.726
COSTO MO				\$ 466.487
COSTO TOTAL				\$ 1.178.213

8.3.7.3 Costo medida 4 para muro, tipología 7

Tabla 70: Costo medida 4, tipología 7

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.260
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 907.650
COSTO MO				\$ 466.487
COSTO TOTAL				\$ 1.374.137

8.3.7.4 Costo medida 5 para muro, tipología 7

Tabla 71: Costo medida 5, tipología 7

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.260
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 907.650
COSTO MO				\$ 466.487
COSTO TOTAL				\$ 1.374.137

8.3.7.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 7

Superficie total de ventanas: 7,36 m²

Costo ventanas = 7,36*120.000 = \$883.200

8.3.8 Costos Tipología 8

8.3.8.1 Costo medida 1 para muro, tipología 8

Tabla 72: Costo medida 1, tipología 8

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 238.653
COSTO MO				\$ 618.730
COSTO TOTAL				\$ 857.383

8.3.8.2 Costo medida 3 para muro, tipología 8

Tabla 73: Costo medida 3, tipología 8

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	-
poliestireno exp.	0,043	50	0,05	-
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 944.005
COSTO MO				\$ 618.730
COSTO TOTAL				\$ 1.562.735

8.3.8.3 Costo medida 4 para muro, tipología 8

Tabla 74: Costo medida 4, tipología 8

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 1.182.658
COSTO MO				\$ 618.730
COSTO TOTAL				\$ 1.801.388

8.3.8.4 Costo medida 5 para muro, tipología 8

Tabla 75: Costo medida 5, tipología 8

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 1.182.658
COSTO MO				\$ 618.730
COSTO TOTAL				\$ 1.801.388

8.3.8.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 8

Superficie total de ventanas: 10,36 m²

Costo ventanas = 10,36*120.000 = \$1.243.200

8.3.9 Costos Tipología 9

8.3.9.1 Costo medida 1 para muro, tipología 9

Tabla 76: Costo medida 1, tipología 9

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 152.658
COSTO MO				\$ 395.780
COSTO TOTAL				\$ 548.438

8.3.9.2 Costo medida 3 para muro, tipología 9

Tabla 77: Costo medida 3, tipología 9

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	-
poliestireno exp.	0,043	50	0,05	-
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 603.847
COSTO MO				\$ 395.780
COSTO TOTAL				\$ 999.627

8.3.9.3 Costo medida 4 para muro, tipología 9

Tabla 78: Costo medida 4, tipología 9

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 756.505
COSTO MO				\$ 395.780
COSTO TOTAL				\$ 1.152.285

8.3.9.4 Costo medida 5 para muro, tipología 9

Tabla 79: Costo medida 5, tipología 9

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 756.505
COSTO MO				\$ 395.780
COSTO TOTAL				\$ 1.152.285

8.3.9.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 9

Superficie total de ventanas: 10,11 m²

Costo ventanas = 10,11*120.000 = \$1.213.200

8.3.10 Costo Tipología 10

8.3.10.1 Costo medida 1 para muro, tipología 10

Tabla 80: Costo medida 1, tipología 10

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 180.738
COSTO MO				\$ 468.580
COSTO TOTAL				\$ 649.318

8.3.10.2 Costo medida 3 para muro, tipología 10

Tabla 81: Costo medida 3, tipología 10

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	-
poliestireno exp.	0,043	50	0,05	-
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 714.919
COSTO MO				\$ 468.580
COSTO TOTAL				\$ 1.183.499

8.3.10.3 Costo medida 4 para muro, tipología 10

Tabla 82: Costo medida 4, tipología 10

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 895.657
COSTO MO				\$ 468.580
COSTO TOTAL				\$ 1.364.237

8.3.10.4 Costo medida 5 para muro, tipología 10

Tabla 83: Costo medida 5, tipología 10

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m ²]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 895.657
COSTO MO				\$ 468.580
COSTO TOTAL				\$ 1.364.237

8.3.10.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 10

Superficie total de ventanas: 8,26 m²

Costo ventanas = 8,26*120.000 = \$991.200

8.3.11 Costos Tipología 11

8.3.11.1 Costo medida 1 para muro, tipología 11

Tabla 84: Costo medida 1, tipología 11

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
COSTO MAT.				\$ 197.100
COSTO MO				\$ 511.000
COSTO TOTAL				\$ 708.100

8.3.11.2 Costo medida 3 para muro, tipología 11

Tabla 85: Costo medida 3, tipología 11

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	-
poliestireno exp,	0,043	50	0,05	-
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 779.640
COSTO MO				\$ 511.000
COSTO TOTAL				\$ 1.290.640

8.3.11.3 Costo medida 4 para muro, tipología 11

Tabla 86: Costo medida 4, tipología 11

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp.	0,043	70	0,07	\$ 1.020
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 976.740
COSTO MO				\$ 511.000
COSTO TOTAL				\$ 1.487.740

8.3.11.4 Costo medida 5 para muro, tipología 11

Tabla 87: Costo medida 5, tipología 11

Material	Conductividad λ [W/m°C]	Espesor e [mm]	e [m]	Costo [\$/m2]
yeso cartón	0,26	10	0,01	\$ 1.680
poliestireno exp	0,043	70	0,07	\$ 1.020
pino impregnado	0,104	16	0,016	-
OSB	0,23	8	0,008	\$ 2.785
siding fibrocemento	0,23	6	0,006	\$ 7.895
COSTO MAT.				\$ 976.740
COSTO MO				\$ 511.000
COSTO TOTAL				\$ 1.487.740

8.3.11.5 Costo medida 6 para ventana, tipología 11

Superficie total de ventanas: 12 m²

Costo ventanas = 12*120.000 = \$1.440.000

8.4 Anexo 4: Resultados consolidados de todas las tipologías

8.4.1 Consumo y ahorro anual de combustible consolidado

Tabla 88: Consumo de Combustible

CONSUMO COMBUSTIBLE [kg/año]							
Tipología	Consumo comb. base [kg/año]	med 1	med 3	med 4	med 5	ventanas	calefactor (pellet)
1	2158	2121	2154	2242	2119	2123	1200
2	2578	2555	2574	2559	2553	2525	1500
3	3976	3919	3969	3793	3916	3892	2300
4	4567	4499	4556	4510	4492	4504	2600
5	3736	3691	3729	3698	3686	3672	2100
6	3989	3942	3981	3943	3851	3917	2300
7	5343	5259	5333	5266	5254	5243	3000
8	6234	6171	6224	6181	6165	5985	3600
9	5155	5118	5149	5124	5013	5017	2900
10	5062	5014	5054	5022	5010	4948	2900
11	6331	6281	6323	6289	6277	6166	3600

Tabla 89: Ahorro de Combustible

AHORRO COMBUSTIBLE [\$/año]							
Tipología	Costo comb. base [\$/año]	med 1	med 3	med 4	med 5	ventanas	calefactor (pellet)
1	\$ 258.991	\$ 4.496	\$ 577	\$ -10.024	\$ 4.743	\$ 4.294	\$ 86.670
2	\$ 309.357	\$ 2.706	\$ 444	\$ 2.271	\$ 2.969	\$ 6.351	\$ 103.525
3	\$ 477.137	\$ 6.835	\$ 877	\$ 21.940	\$ 7.211	\$ 10.053	\$ 159.672
4	\$ 548.008	\$ 8.163	\$ 1.341	\$ 6.851	\$ 8.957	\$ 7.585	\$ 183.389
5	\$ 448.372	\$ 5.504	\$ 904	\$ 4.620	\$ 6.040	\$ 7.766	\$ 150.046
6	\$ 478.709	\$ 5.711	\$ 938	\$ 4.794	\$ 16.601	\$ 8.638	\$ 160.198
7	\$ 641.208	\$ 10.174	\$ 1.305	\$ 9.250	\$ 10.733	\$ 12.109	\$ 214.578
8	\$ 748.110	\$ 7.566	\$ 1.243	\$ 6.351	\$ 8.303	\$ 29.941	\$ 250.353
9	\$ 618.634	\$ 4.502	\$ 739	\$ 3.779	\$ 17.071	\$ 16.634	\$ 207.024
10	\$ 607.387	\$ 5.690	\$ 934	\$ 4.776	\$ 6.244	\$ 13.590	\$ 203.206
11	\$ 759.668	\$ 5.915	\$ 971	\$ 4.965	\$ 6.491	\$ 19.743	\$ 254.220

8.4.2 Análisis de emisiones consolidado

Tabla 90: Ahorro de Emisiones

AHORRO EMISIONES [ton CO2/año]							
Tipología	Emisión CO2 base [ton/año]	med 1	med 3	med 4	med 5	ventana	calefactor (pellet)
1	3,7	0,5	0,4	0,3	0,5	0,5	1,4
2	4,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	1,7
3	6,8	0,8	0,7	1	0,8	0,9	2,6
4	7,8	0,9	0,9	0,9	1	0,9	3
5	6,4	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	2,5
6	6,8	0,8	0,7	0,8	0,9	0,8	2,6
7	9,2	1,1	1	1,1	1,1	1,1	3,5
8	10,7	1,2	1,2	1,2	1,3	1,5	4,1
9	8,8	1	1	1	1,2	1,2	3,4
10	8,7	1	0,9	1	1	1,1	3,3
11	10,8	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	4,2

8.4.3 Análisis financiero consolidado

8.4.3.1 Tasa interna de retorno TIR

Tabla 91: TIR

TIR						
Tipología	med 1	med 3	med 4	med 5	ventana	calefactor (pellet)
1	-4,6%	-19,6%	negativa	-9,1%	-5,6%	17,5%
2	-8,5%	-21,3%	-13,8%	-12,3%	-5,6%	20,7%
3	-5,0%	-19,8%	-1,7%	-9,4%	-5,6%	30,5%
4	-8,0%	-20,9%	-13,4%	-11,9%	-5,6%	34,4%
5	-8,2%	-21,0%	-13,6%	-12,1%	-5,6%	28,8%
6	-8,2%	-21,1%	-13,6%	-6,1%	-5,6%	30,5%
7	-4,8%	-19,7%	-10,1%	-9,2%	-5,6%	39,5%
8	-8,5%	-21,3%	-13,8%	-12,3%	-1,4%	45,4%
9	-8,9%	-21,6%	-14,2%	-5,0%	-5,6%	38,3%
10	-8,5%	-21,3%	-13,8%	-12,4%	-5,6%	37,7%
11	-8,8%	-21,5%	-14,1%	-12,6%	-5,6%	46,0%

8.4.3.2 Valor actual neto VAN

Tabla 92: VAN

VAN						
Tipología	med 1	med 3	med 4	med 5	ventana	calefactor (pellet)
1	\$ -237.444	\$ -503.018	\$ -702.982	\$ -542.404	\$ -266.505	\$ 292.465
2	\$ -278.683	\$ -556.747	\$ -622.645	\$ -615.054	\$ -394.141	\$ 475.747
3	\$ -382.275	\$ -802.604	\$ -708.617	\$ -868.779	\$ -623.886	\$ 1.086.296
4	\$ -772.500	\$ -1.555.230	\$ -1.735.040	\$ -1.712.139	\$ -470.723	\$ 1.344.195
5	\$ -536.506	\$ -1.077.737	\$ -1.202.729	\$ -1.187.288	\$ -481.955	\$ 981.619
6	\$ -560.148	\$ -1.123.172	\$ -1.255.250	\$ -1.126.857	\$ -536.072	\$ 1.092.016
7	\$ -551.779	\$ -1.164.019	\$ -1.273.548	\$ -1.257.421	\$ -751.522	\$ 1.683.345
8	\$ -775.105	\$ -1.549.223	\$ -1.732.331	\$ -1.711.103	\$ -917.621	\$ 2.072.364
9	\$ -499.480	\$ -991.587	\$ -1.111.194	\$ -966.651	\$ -1.032.322	\$ 1.601.201
10	\$ -587.443	\$ -1.173.337	\$ -1.312.305	\$ -1.296.341	\$ -843.421	\$ 1.560.271
11	\$ -643.779	\$ -1.280.077	\$ -1.433.755	\$ -1.417.160	\$ -1.225.308	\$ 2.114.421

8.4.3.3 Payback

Tabla 93: Payback

PAYBACK						
Tipología	med 1	med 3	med 4	med 5	ventana	calefactor (pellet)
1	64	883	-59	125	73	8
2	114	1264	285	218	73	6
3	67	926	43	131	73	4
4	106	1171	264	202	73	4
5	108	1203	271	208	73	4
6	109	1209	273	79	73	4
7	65	903	149	128	73	3
8	113	1258	284	217	42	3
9	122	1352	305	68	73	3
10	114	1267	286	219	73	3
11	120	1329	300	229	73	3

9 Referencias

- Asociación de Investigadores de Mercado (s.f.). Infografía, Cómo se clasifican los nuevos grupos socioeconómicos en Chile. Recuperado de: <http://www.emol.com/noticias/Economia/2016/04/02/796036/Como-se-clasifican-los-grupos-socioeconomicos-en-Chile.html>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (s.f.). *Reportes Estadísticos Comunales 2015*. Recuperado de: <http://reportescomunales.bcn.cl/2015/index.php/Llanquihue>
- Cámara Chilena de la Construcción. (s.f.). *Indicador: Índice de Costos de Edificación*. Recuperado desde: <http://www.cchc.cl/centro-de-informacion/indicadores/indice-de-costos-de-edificacion>
- Cantú,P. (1992) *Contaminación ambiental*, ID 70524
- Celis, J y Morales, J., Zaror, C., y Carvacho, O. (2007). Estudio de la contaminación del aire urbano en una ciudad intermedia: El caso de Chillán.165-182. doi: 10.4067/S0718-07642007000300007
- Centeno, J. (2016). Fraude en París.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico (2015). *Manual Acondicionamiento Térmico – Criterios de Intervención*. Santiago, Chile: Gráfica Andes.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico (2016). *Manual de Reacondicionamiento Térmico*. Concepción, Chile: El Sur Impresores.

Corporación de Desarrollo Tecnológico (s.f.). *Medición del Consumo Nacional de Leña y*

otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera, Informe de Avance 3.

Recuperado de :

http://www.senado.cl/site/presupuesto/2015/cumplimiento/Protocolo%202015/ORD.%201245%20Protocolo%20Estudios%20Eficienci%20Energ%C3%A9tica/Estudio%20consumo%20nacional%20de%20le%C3%B1a/Informe%203%20LE%C3%91A%20150915_rev%20rrh.pdf

Coworking (s.f.). *Cowo es parte de iniciativa que permite a pobladores comprar leña más*

barata y reducir contaminación. Recuperado de:

<https://cowo.cl/2018/02/12/economia-colaborativa-cowo-es-parte-de-iniciativa-que-permite-a-pobladores-comparar-lena-mas-barata-y-reducir-contaminacion/>

Decreto Supremo n°39. Contraloría General de la Republica. Santiago de Chile, 13 de julio de 2012.

Del Rio, R. (2008). *Llanquihue, entre lago y río*. Llanquihue, Chile: O.N.G. Corporación Cultural Ciudad de Llanquihue.

Fundación Legado Chile. (s.f.). *Programa Llanquihue: Ciudad de Humedales*. Recuperado de: <http://legadochile.cl/llanquihue/>

Grabelferg Noticias. (s.f.). *Denuncian tala ilegal de árboles a orillas del río Maullín*.

Recuperado de:

<http://grafelbergnoticias.blogspot.com/2018/03/denuncian-tala-ilegal-de-arboles.html>

Gómez, D y Watterson, J. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *Vol 2*.

Indalum. (s.f.). *Temperatura de Confort*. Recuperado de:

<http://www.indalum.cl/sustentabilidad/temperatura-de-confort/8>

Instituto Nacional de Estadísticas. (s.f.) *Resultados CENSO 2017*. Recuperado de:

<https://resultados.censo2017.cl/Region?R=R10>

Lacasaña-Navarro, M., Aguilar-Garduño, C., Romieu, I. (1999). Evolución de la Contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina. *Salud Pública de México, vol 41, n°3*.

Ley N°19300, modificada por Ley N° 20417. Diario Oficial de la República de Chile.

Santiago de Chile, 26 de enero de 2010.

Lignum (s.f.). Las compras colectivas de leña surgen como opción por mejor aire.

Recuperado de: <http://www.lignum.cl/2015/08/05/las-compras-colectivas-de-leña-surgen-como-opcion-por-mejor-aire/>

Lobos, G., Vallejos, O., Caroca, C., Marchant, C. (2005). El Mercado de los Bonos de Carbono, “bonos verdes”: Una Revisión. *Revista RIAT*.

Ministerio del Medio Ambiente. (2011). Contaminación del Aire, *Capítulo 1*.

Ministerio de Energía (s.f.). *Haz crecer tu negocio con fondo “Más Leña Seca”*.

Recuperado de: <http://www.energia.gob.cl/tema-de-interes/llaman-comerciantes-de-leña>

Ministerio de Energía (s.f.). *Se abre el fondo concursable “Más Leña Seca”*. Recuperado

de: <http://www.energia.gob.cl/tema-de-interes/llaman-comerciantes-de-leña>

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2014). Manual de Aplicación de Reglamentación

Térmica. *Parte I y II*.

Ministerio del Medio Ambiente. (2014). *Planes de Descontaminación Atmosférica Estrategia 2014-2018*

Ministerio del Medio Ambiente (s.f.). *Programa de Recambio de Calefactores*. Recuperado de: <https://calefactores.mma.gob.cl/>

Ministerio de Medio Ambiente. (2016). Resumen de la Calidad del Aire.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo. (2016). Curso de Evaluadores Energéticos: Sistema de Calificación Energética Vivienda, MINVU.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (s.f.). *Subsidios para Acondicionamiento Térmico de la Vivienda – Título II del Programa de Protección del Patrimonio Familiar*. Recuperado de: http://www.minvu.cl/opensite_det_20110502134513.aspx

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (s.f.). *Título II del Programa de Protección Familiar: Subsidios para Reparación y Mejoramiento de Vivienda*. Recuperado de: http://www.minvu.cl/opensite_det_20110425113800.aspx

Natural Resources Canada (s.f.). *Data Analysis Software and Modelling Tools – RETScreen*. Recuperado de: <http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465>

Revista Arqhys (2012). *Sistemas de Calefacción*. Recuperado de: <https://www.arqhys.com/construccion/calefaccion-sistemas.html>

Romero, N. (2011). *Consumo de Energía a nivel residencial en Chile y Análisis de Eficiencia Energética en Calefacción*. (Memoria de título de Ingeniería Civil). Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Romero, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol 44, n° 2.

Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (s.f.). *Estación Alerce MP 2,5 registro diario - promedio mensual*. Recuperado de: <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/id/270>

Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (s.f.). *Estación Mirasol MP 2,5*

registro diario – promedio mensual. Recuperado de:

<https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/id/245>

Solís, L., López, J. (2003) *Principios Básicos de la Contaminación Ambiental*. Toluca,

México: Instituto Literario 100.

Tecklin, D., Dellasala, D., Luebert, F., y Pliscoff, P. (2011). *Temperate and Boreal*

Rainforests of the World: Ecology and Conservation. Washington, Estados Unidos:
Island Press.