



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO EN UNA VIVIENDA SOCIAL TIPO PARA LA
INCORPORACIÓN DEL IMPACTO DE CAMBIO CLIMÁTICO A LA
REGLAMENTACIÓN TÉRMICA NACIONAL**

MAXIMILIANO AUGUSTO TAIVO RODRÍGUEZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PROFESOR GUÍA:

BÁRBARA RODRÍGUEZ DROGUETT

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

RAMÓN FREDERICK GONZÁLEZ

ERNESTO HERBACH ÁLVAREZ

SANTIAGO DE CHILE

2015

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: MAXIMILIANO TAIVO RODRÍGUEZ
FECHA: 18/03/2015
PROF. GUÍA: BÁRBARA RODRÍGUEZ
DROGUETT

“EVALUACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN UNA VIVIENDA SOCIAL TIPO PARA LA INCORPORACIÓN DEL IMPACTO DE CAMBIO CLIMÁTICO A LA REGLAMENTACIÓN TÉRMICA NACIONAL”

Los gases de efecto invernadero (GEI), asociados al cambio climático han producido aceleradamente efectos nocivos e irreparables al medio ambiente durante las últimas décadas, mientras que los intentos por mitigar estos efectos no ocurren con la misma rapidez. Esta memoria de título pretende poner en valor el cambio climático en el sector de la Construcción a través de la evaluación de las emisiones GEI en una vivienda social tipo.

En el presente tema, se evalúa la Reglamentación Térmica aplicándola a una vivienda social tipo de 47,7 m² de superficie, teniendo en cuenta la zonificación térmica actual, analizando la categoría de impacto ambiental “uso de recursos energéticos”, mediante el uso de fórmulas adecuadas como también por medio de la utilización del Software *DesignBuilder*, y la categoría “calentamiento global” por medio de cálculos del factor de emisión asociado a un sistema eléctrico, que relaciona la demanda energética de la vivienda con sus emisiones GEI.

Se espera que con la realización de este tema, los resultados obtenidos en la categoría de impacto ambiental calentamiento global sean analizados, para que a futuro sean incluidos en la Reglamentación, debido a que ésta se considera prescriptiva al incorporar sólo limitaciones a la envolvente de las viviendas (además de algunas otras exigencias), sin explicitar consecuencias en algunos ámbitos, como por ejemplo el energético y medio ambiental. Como principales resultados obtenidos se pueden mencionar que la demanda energética y emisiones GEI para viviendas sociales en Chile es de 166,6 kWh/m²-año y 79,5 kg CO₂/m²-año, respectivamente y que el factor de emisión para el Sistema Eléctrico de Magallanes en el año 2013 fue de 0,6321 kg CO₂/kWh.

Como alcance de este tema, se proponen y analizan opciones de mejoras futuras a la Reglamentación en base a los resultados obtenidos, como la modificación de las transmitancias térmicas asociadas a las distintas zonas térmicas.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 10 |
| 1.1 Antecedentes | 10 |
| 1.2 Objetivos | 13 |
| 1.2.1 Objetivo general..... | 13 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 13 |
| 1.3 Metodología..... | 14 |
| 1.3.1 Revisión bibliográfica | 15 |
| 1.3.2 Modelación de la vivienda..... | 16 |
| 1.3.2 Cálculo del impacto sobre el cambio climático | 28 |
| CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO | 30 |
| 2.1 Construcción sustentable a nivel nacional | 30 |
| 2.1.1 Política actual en Chile | 30 |
| 2.1.2 Reglamentación Térmica | 37 |
| 2.1.3 Energía y confort al interior de la vivienda | 41 |
| 2.2 Construcción sustentable a nivel internacional..... | 43 |
| 2.2.1 Sustentabilidad integral | 43 |
| 2.2.2 Cambio climático | 49 |
| 2.3 Revisión bibliográfica de otras modelaciones a través de software..... | 56 |
| CAPÍTULO 3: CÁLCULO DE IMPACTOS EN EL USO DE RECURSOS ENERGÉTICOS | 70 |
| 3.1 Cálculo de energía teórico | 70 |
| 3.1.1 Caso óptimo teórico | 71 |
| 3.1.2 Caso desfavorable teórico | 77 |
| 3.1.3 Resumen de casos teóricos..... | 81 |
| 3.2 Cálculo de energía mediante Software..... | 84 |
| CAPÍTULO 4: CÁLCULO DE IMPACTOS EN LAS EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO | 88 |
| 4.1 Factores de emisión..... | 88 |
| 4.1.1 Factores de emisión del SIC, SING y Sistema Eléctrico de Magallanes..... | 88 |
| 4.2 Cálculo de emisiones de efecto invernadero | 89 |
| 4.2.1 Emisiones de efecto invernadero teóricas..... | 89 |

| | | |
|--|--|-----|
| 4.2.2 | Emisiones de efecto invernadero mediante datos de Software | 91 |
| CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DE RESULTADOS..... | | 94 |
| 5.1 | Modificación y análisis de la orientación de la vivienda | 94 |
| 5.2 | Modificación y análisis de transmitancias térmicas de la envolvente..... | 96 |
| CAPÍTULO 6: COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES | | 101 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | | 103 |
| ANEXOS..... | | 107 |
| Anexo A..... | | 107 |
| Anexo B..... | | 123 |
| B.1 | Arquitectura básica de la vivienda | 123 |
| B.2 | Fachadas de vivienda analizadas con <i>DesignBuilder</i> | 124 |
| B.3 | Parámetros específicos utilizados en <i>DesignBuilder</i> | 128 |
| B.4 | Datos climáticos utilizados | 140 |
| Anexo C | | 144 |
| Anexo D | | 146 |
| D.1 | Factor de emisión de Sistema Eléctrico de Magallanes..... | 146 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro 1: Concentraciones de gases de efecto invernadero promedio a nivel mundial. | 11 |
| Cuadro 2: Catastro superficie de viviendas sociales. | 14 |
| Cuadro 3: Algunos programas de simulación energética..... | 16 |
| Cuadro 4: Resumen comparativa de capacidades y usabilidad. | 17 |
| Cuadro 5: Diferencias generales entre casos óptimo y desfavorable..... | 19 |
| Cuadro 6: Porcentaje de ventanas con respecto a parámetros verticales de la envolvente..... | 20 |
| Cuadro 7: Localidades escogidas para cálculo mediante Software. | 21 |
| Cuadro 8: Valores de renovaciones de aire por hora por recinto de la norma NCh1960.Of89..... | 25 |
| Cuadro 9: Localidades escogidas para cálculo teórico..... | 27 |
| Cuadro 10: Exigencias para complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados..... | 37 |
| Cuadro 11: Exigencias para ventanas en viviendas..... | 38 |
| Cuadro 12: Resistencia térmica R100 mínima. | 38 |
| Cuadro 13: Transmitancia térmica ponderada máxima por zona térmica. | 40 |
| Cuadro 14: Grados-día zonificación térmica de la Reglamentación Térmica. | 40 |
| Cuadro 15: Impactos ambientales y consumo energético de un edificio en cuatro fases. | 47 |
| Cuadro 16: Características de materiales usados en las paredes del edificio. | 57 |
| Cuadro 17: Continuación de cuadro 17..... | 57 |
| Cuadro 18: Datos para la localización geográfica de Santa María. | 58 |
| Cuadro 19: Características de ventanas del edificio Santa María..... | 59 |
| Cuadro 20: Dimensiones de las ventanas de la sala 02..... | 59 |
| Cuadro 21: Consumo de energía de calefacción y refrigeración anual en relación a la orientación del edificio Santa María..... | 60 |
| Cuadro 22: Propiedades generales de muros de edificio CEC. | 61 |
| Cuadro 23: Propiedades de ventanas en edificio CEC..... | 61 |
| Cuadro 24: Propiedades de losas en edificio CEC. | 62 |
| Cuadro 25: Potencia instalada de computadores y otros equipos del edificio CEC. | 62 |
| Cuadro 26: Datos de ventilación de inyección de aire, zócalo CEC..... | 62 |
| Cuadro 27: Instalaciones reales de iluminación edificio CEC..... | 63 |
| Cuadro 28: Propiedades generales edificio CEC. | 64 |
| Cuadro 29: Propiedades térmicas envolvente edificio CEC. | 65 |
| Cuadro 30: Entrega de datos de edificio CEC..... | 65 |
| Cuadro 31: Propiedades condiciones cero o nulas, edificio CEC. | 66 |
| Cuadro 32: Perfil de demanda anual de energía edificio CEC..... | 66 |
| Cuadro 33: Transmitancia térmica de puertas y ventanas. | 70 |
| Cuadro 34: Transmitancia térmica de puertas de la vivienda..... | 71 |
| Cuadro 35: Dimensiones de ventanas para cada zona térmica, caso óptimo. | 71 |
| Cuadro 36: Superficie de ventanas, muros, pisos ventilados y techumbre de la vivienda, caso óptimo..... | 72 |
| Cuadro 37: Grados-día [°C] por mes en base 20 °C..... | 72 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 38: Pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente [kWh], caso óptimo..... | 73 |
| Cuadro 39: Área de escape de aire efectivo de techo de la vivienda para todas las zonas térmicas, caso óptimo..... | 73 |
| Cuadro 40: Área de escape de aire efectivo de puertas de la vivienda para todas las zonas térmicas, caso óptimo..... | 73 |
| Cuadro 41: Área de escape de aire efectivo de muros de la vivienda, caso óptimo. | 74 |
| Cuadro 42: Área de escape de aire efectivo de ventanas de la vivienda, caso óptimo. | 74 |
| Cuadro 43: Renovaciones de aire por hora asociadas a pérdidas por infiltración de la vivienda. ... | 74 |
| Cuadro 44: Pérdidas térmicas por infiltración de la envolvente [kWh], caso óptimo. | 75 |
| Cuadro 45: Renovaciones de aire de vivienda consideradas según NCh1960.Of89..... | 75 |
| Cuadro 46: Pérdidas térmicas por ventilación de la envolvente [kWh], caso óptimo..... | 75 |
| Cuadro 47: Ganancias térmicas por radiación solar a través de ventanas [kWh], caso óptimo..... | 76 |
| Cuadro 48: Ganancias térmicas por calor latente y sensible de personas [kWh], caso óptimo. | 76 |
| Cuadro 49: Ganancias térmicas por equipos e iluminación en la vivienda [kWh], caso óptimo. | 77 |
| Cuadro 50: Dimensiones de ventanas para cada zona térmica, caso desfavorable. | 77 |
| Cuadro 51: Superficie de ventanas, muros, pisos ventilados y techumbre de la vivienda, caso desfavorable..... | 77 |
| Cuadro 52: Pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente [kWh], caso desfavorable. | 78 |
| Cuadro 53: Área de escape de aire efectivo de muros de la vivienda, caso desfavorable. | 78 |
| Cuadro 54: Área de escape de aire efectivo de ventanas de la vivienda, caso desfavorable..... | 79 |
| Cuadro 55: Renovaciones de aire por hora asociadas a pérdidas por infiltración de la vivienda, caso desfavorable..... | 79 |
| Cuadro 56: Pérdidas térmicas por infiltración de la envolvente [kWh], caso desfavorable..... | 79 |
| Cuadro 57: Pérdidas térmicas por ventilación de la envolvente [kWh] caso desfavorable..... | 80 |
| Cuadro 58: Ganancias térmicas por radiación solar a través de ventanas [kWh], caso desfavorable. | 80 |
| Cuadro 59: Demanda energética teórica mensual, caso óptimo [kWh]..... | 81 |
| Cuadro 60: Gráfico de demanda energética teórica mensual, caso óptimo..... | 81 |
| Cuadro 61: Demanda energética teórica anual por unidad de superficie de la vivienda al año, caso óptimo. | 82 |
| Cuadro 62: Demanda energética teórica mensual, caso desfavorable [kWh]..... | 82 |
| Cuadro 63: Gráfico de demanda energética teórica mensual, caso desfavorable. | 83 |
| Cuadro 64: Demanda energética teórica anual por unidad de superficie de la vivienda al año, caso desfavorable..... | 83 |
| Cuadro 65: Demanda energética teórica anual por unidad de superficie de la vivienda al año, ambos casos. | 84 |
| Cuadro 66: Demanda energética anual mediante software, caso óptimo. | 85 |
| Cuadro 67: Demanda energética anual software, caso desfavorable. | 86 |
| Cuadro 68: Demanda energética anual mediante software, ambos casos. Calefacción a estufa eléctrica..... | 86 |
| Cuadro 69: Sistemas eléctricos del país en cada zona térmica..... | 89 |
| Cuadro 70: Factores de emisión del SIC, SING y Sistema Eléctrico de Magallanes..... | 89 |

| | |
|---|-----|
| Cuadro 71: Emisiones de efecto invernadero teóricas caso óptimo. | 90 |
| Cuadro 72: Emisiones de efecto invernadero teóricas caso desfavorable. | 90 |
| Cuadro 73: Gráfico de emisiones de efecto invernadero teóricas, ambos casos. | 90 |
| Cuadro 74: Emisiones de efecto invernadero mediante Software caso óptimo. | 91 |
| Cuadro 75: Gráfico de emisiones de efecto invernadero mediante Software caso óptimo..... | 92 |
| Cuadro 76: Emisiones de efecto invernadero mediante Software caso desfavorable. | 92 |
| Cuadro 77: Gráfico de emisiones de efecto invernadero mediante Software caso desfavorable. .. | 93 |
| Cuadro 78: Análisis de sensibilidad con variación de la orientación de la vivienda, caso óptimo.... | 94 |
| Cuadro 79: Análisis de sensibilidad con variación de la orientación de la vivienda, caso desfavorable..... | 95 |
| Cuadro 80: Variación máxima en demanda energética, sensibilidad en orientación de la vivienda. | 95 |
| Cuadro 81: Características de soluciones constructivas para la modificación de la transmitancia térmica. | 97 |
| Cuadro 82: Análisis de modificación de transmitancia térmica para la zona térmica 2, caso óptimo. | 97 |
| Cuadro 83: Análisis de modificación de transmitancia térmica para la zona térmica 2, caso desfavorable..... | 98 |
| Cuadro 84: Gráfico de demanda energética modificada de la vivienda mediante Software. | 98 |
| Cuadro 85: Emisiones de efecto invernadero mediante Software caso óptimo, zona térmica 2 modificada..... | 99 |
| Cuadro 86: Gráfico de emisiones de efecto invernadero mediante Software caso óptimo, zona térmica 2 modificada. | 99 |
| Cuadro 87: Emisiones de efecto invernadero mediante Software caso desfavorable, zona térmica 2 modificada..... | 99 |
| Cuadro 88: Gráfico de emisiones de efecto invernadero mediante Software caso desfavorable, zona térmica 2 modificada..... | 100 |
| Cuadro 89: Sugerencias de mejoras en la Reglamentación Térmica actual. | 102 |
| Cuadro 90: Valores modificados en apartado <i>Activity</i> para cada recinto..... | 129 |
| Cuadro 91: Soluciones constructivas en apartado <i>Construction</i> para cada recinto. | 130 |
| Cuadro 92: Características de soluciones constructivas en <i>External walls</i> | 131 |
| Cuadro 93: Características de soluciones constructivas en <i>Semi-exposed ceiling</i> | 132 |
| Cuadro 94: Características de las soluciones constructivas en <i>Ground floor</i> | 133 |
| Cuadro 95: Características de las soluciones constructivas en <i>External floor</i> | 133 |
| Cuadro 96: Características de las soluciones constructivas en <i>Internal partitions</i> | 134 |
| Cuadro 97: Características de las soluciones constructivas en <i>Glazing type</i> | 135 |
| Cuadro 98: Horarios de uso de iluminación en recintos mediante simulación a través de Software. | 135 |
| Cuadro 99: CoP y tipo de combustible utilizado en sistemas de calefacción. | 137 |
| Cuadro 100: Horarios de uso de calefacción en recintos mediante simulación a través de Software. | 137 |
| Cuadro 101: Renovaciones de aire por hora consideradas en el Software. | 138 |

| | |
|--|-----|
| Cuadro 102: Datos climáticos ZT1 de <i>DesignBuilder</i> | 140 |
| Cuadro 103: Datos climáticos ZT2 de <i>DesignBuilder</i> | 140 |
| Cuadro 104: Datos climáticos ZT3 de <i>DesignBuilder</i> | 141 |
| Cuadro 105: Datos climáticos ZT4 de <i>DesignBuilder</i> | 141 |
| Cuadro 106: Datos climáticos ZT5 de <i>DesignBuilder</i> | 142 |
| Cuadro 107: Datos climáticos ZT6 de <i>DesignBuilder</i> | 142 |
| Cuadro 108: Datos climáticos ZT7 de <i>DesignBuilder</i> | 143 |
| Cuadro 109: Radiación mensual [MJ/m ²] de Iquique, latitud 20,22° S..... | 144 |
| Cuadro 110: Radiación mensual [MJ/m ²] de Ovalle, latitud 30,57° S..... | 144 |
| Cuadro 111: Radiación mensual [MJ/m ²] de Santiago (Pudahuel), latitud 33,38° S..... | 144 |
| Cuadro 112: Radiación mensual [MJ/m ²] de Concepción, latitud 36,83° S..... | 144 |
| Cuadro 113: Radiación mensual [MJ/m ²] de Puerto Saavedra, latitud 38,77° S..... | 145 |
| Cuadro 114: Radiación mensual [MJ/m ²] de Lago Chapo, latitud 41,43° S..... | 145 |
| Cuadro 115: Radiación mensual [MJ/m ²] de Punta Arenas, latitud 53° S..... | 145 |
| Cuadro 116: Energía en alimentadores real en Porvenir, año 2013..... | 146 |
| Cuadro 117: Factores de emisión asociados a combustibles utilizados..... | 147 |
| Cuadro 118: Factores de eficiencia para plantas de energía..... | 147 |
| Cuadro 119: Cálculos y características del Subsistema Eléctrico Porvenir..... | 148 |
| Cuadro 120: Energía en alimentadores real en Puerto Natales, año 2013..... | 148 |
| Cuadro 121: Cálculos y características del Subsistema Eléctrico Puerto Natales..... | 149 |
| Cuadro 122: Energía en alimentadores real en Puerto Williams, año 2013..... | 149 |
| Cuadro 123: Cálculos y características del Subsistema Eléctrico Puerto Williams..... | 150 |
| Cuadro 124: Energía en alimentadores real en Punta Arenas (Tres Puentes), año 2013..... | 150 |
| Cuadro 125: Cálculos y características del Subsistema Eléctrico Punta Arenas (Tres Puentes)..... | 151 |
| Cuadro 126: Energía en alimentadores real en Punta Arenas (Punta Arenas), año 2013..... | 151 |
| Cuadro 127: Cálculos y características del Subsistema Eléctrico Punta Arenas (Punta Arenas)..... | 152 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|-----|
| Ilustración 1: Resumen del impacto del cambio climático..... | 12 |
| Ilustración 2: Plano vivienda con orientación 0° Norte definida. | 21 |
| Ilustración 3: Calificación energética de viviendas. | 34 |
| Ilustración 4: Calidad del ambiente interior..... | 42 |
| Ilustración 5: Idealización del desarrollo sustentable..... | 44 |
| Ilustración 6: Ciclo de vida de una edificación o vivienda..... | 47 |
| Ilustración 7: Balance anual de energía de la Tierra. | 49 |
| Ilustración 8: Proyección del calentamiento global. | 50 |
| Ilustración 9: Efecto de subida del nivel del mar producto del calentamiento global y cambio climático. | 51 |
| Ilustración 10: Esquema básico para la cuantificación de GEI's..... | 55 |
| Ilustración 11: Planta de piso tipo de edificio de Santa María..... | 56 |
| Ilustración 12: Orientaciones modeladas en <i>DesignBuilder</i> de edificio de Santa María. | 58 |
| Ilustración 13: Planta vivienda social, dimensiones externas. | 123 |
| Ilustración 14: Planta vivienda social, dimensiones internas..... | 123 |
| Ilustración 15: Vista exterior genérica de vivienda social. | 124 |
| Ilustración 16: Vivienda ZT1, casos óptimo y desfavorable. | 124 |
| Ilustración 17: Vivienda ZT2, casos óptimo y desfavorable. | 125 |
| Ilustración 18: Vivienda ZT3, casos óptimo y desfavorable. | 125 |
| Ilustración 19: Vivienda ZT4, casos óptimo y desfavorable. | 126 |
| Ilustración 20: Vivienda ZT5, casos óptimo y desfavorable. | 126 |
| Ilustración 21: Vivienda ZT6, casos óptimo y desfavorable. | 127 |
| Ilustración 22: Vivienda ZT7, casos óptimo y desfavorable. | 127 |
| Ilustración 23: Pestaña <i>Activity</i> de Baño de vivienda en ZT1 del programa <i>DesignBuilder</i> | 128 |
| Ilustración 24: Pestaña <i>Construction</i> de Baño de vivienda en ZT1 del programa <i>DesignBuilder</i> . .. | 130 |
| Ilustración 25: Pestaña <i>Openings</i> de Baño de vivienda en ZT1 del programa <i>DesignBuilder</i> | 134 |
| Ilustración 26: Pestaña <i>Lighting</i> de Baño de vivienda en ZT1 del programa <i>DesignBuilder</i> | 135 |
| Ilustración 27: Pestaña <i>HVAC</i> de Baño de vivienda en ZT1 del programa <i>DesignBuilder</i> | 136 |
| Ilustración 28: Pestaña <i>Location</i> de vivienda en ZT1 del programa <i>DesignBuilder</i> | 138 |
| Ilustración 29: Simulación energética ZT1, valores entregados por programa. | 139 |

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

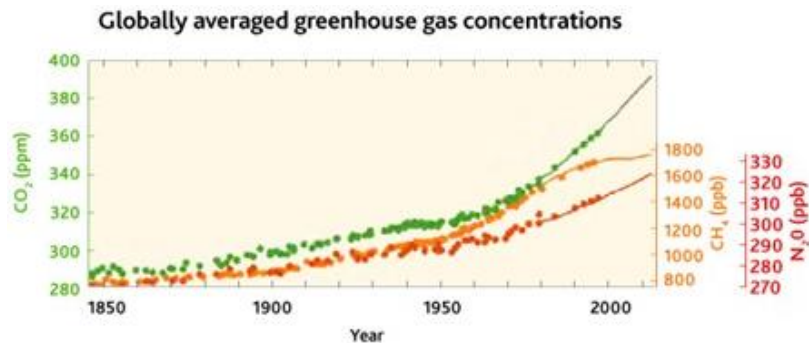
El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), organización internacional conformada por expertos en el tema medioambiental, ha estudiado durante las últimas décadas los efectos asociados al cambio climático a nivel mundial a través de sus 5 informes científicos ya publicados. Estos efectos tendrán consecuencias en todo el mundo, y Chile no es la excepción.

Dentro de las principales conclusiones encontradas en el último informe del IPCC (quinto informe), que vienen a reafirmar informes previos, son las siguientes:

- El origen del cambio climático es antropogénico: Cerca de la mitad de las emisiones de CO₂ antropogénico desde 1750 y 2011, se han producido en los últimos 40 años. Los mayores aumentos absolutos han tenido lugar entre el año 2000 y 2010. Anterior a este aumento antropogénico de emisiones, las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O mantenían un ciclo de concentraciones estable en el tiempo.
- Temperatura de la superficie de la Tierra aumentará a través de los años: Olas de calor se producirán con mayor frecuencia y durarán más, mientras que las precipitaciones extremas serán más intensas y frecuentes.
- Disminuirán los glaciares en todo el mundo: Por ejemplo, la extensión del hielo marino en el Ártico disminuyó de 1979 a 2012 de un 3,5% a un 4,1% por década. El porcentaje de glaciares perdidos a nivel global, según cálculos de entre 1979 y 2012, se estima entre 10,5% al 12,3%.
- Aumento de temperatura de los océanos: Cuyas consecuencias directas son cambios en la salinidad y evaporación, afectando el ciclo del agua. La acidificación de los océanos es evidente, llegando a aumentar en un 26% en los últimos 200 años. Muchas especies marinas estarán en peligro de extinción si se llega a un aumento de temperatura en los océanos de 2 °C.

- Irreversibilidad y abruptos cambios desde 2100: El impacto del cambio climático continuará por siglos, incluso si se detienen hoy las emisiones. Pérdida de permafrost, afectación grave de los ecosistemas marinos por acidificación de los océanos, aumento del nivel del mar, pérdida irreversible de hielo en los polos, etc.

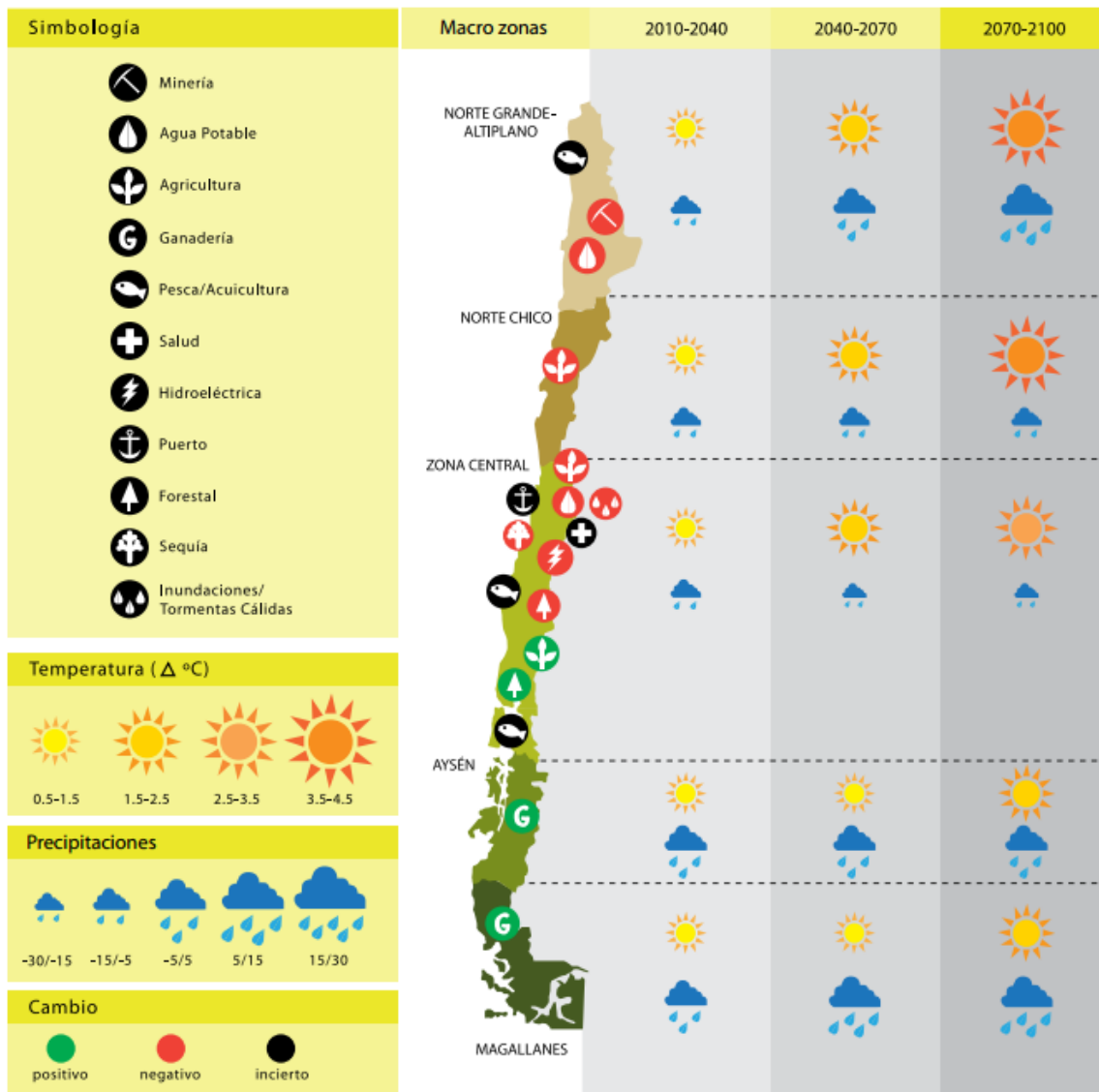
Cuadro 1: Concentraciones de gases de efecto invernadero promedio a nivel mundial.



Fuente: El impacto del cambio climático, irreversible: 5° Informe del IPCC 2014 [1].

El ministerio del Medio Ambiente ha estudiado el caso nacional, cuyos resultados concuerdan con el caso internacional. Los principales efectos del cambio climático a nivel nacional son el aumento de la temperatura en la mayor parte del país y la disminución de las precipitaciones. Esto tendrá efectos directos en la disponibilidad de los recursos hídricos para los distintos usos, en la biodiversidad, en la salud, en la infraestructura y en sectores productivos, tales como la silvoagricultura y la actividad pecuaria, en la pesca y acuicultura, en la generación de energía y en el turismo. Es por esto que es importante abordar el tema del cambio climático a nivel nacional, implementando nuevas políticas y reglamentaciones, junto con una nueva visión del problema a nivel de la sociedad, siendo más conscientes de la gravedad del problema.

Ilustración 1: Resumen del impacto del cambio climático en Chile.



Fuente: Adaptación al cambio climático, estrategias y políticas chilenas [2].

Otro de los temas importantes en el crecimiento de un país es tener un bajo consumo energético junto con emitir bajas cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Se pueden mencionar cifras de consumo energético durante los últimos años en diferentes lugares, como por ejemplo en Europa se encuentran consumos de energía general de unos 145 kWh/m²-año mientras que en EEUU de 240 kWh/m²-año [3]. Francia posee una reglamentación térmica que entró en vigencia el año 2013, en donde obliga a que todos los edificios nuevos de viviendas tengan un consumo medio de energía primaria de 50 kWh/m²-año [4], valor sumamente exigente. En Chile por su parte, se estima un consumo promedio de energía para calefacción, iluminación y agua caliente de 192 kWh/m²-año [5], el cual se espera que disminuya debido a las políticas implementadas recientemente

y con la entrada en vigencia de la calificación energética de viviendas del MINVU, cuyos efectos esperados son el reconocer la eficiencia energética como un factor diferenciador de la vivienda, fomentar el bajo consumo energético como una inversión en el valor futuro del inmueble y reconocer el valor agregado de las viviendas comprometidas con el medio ambiente.

En Chile, el consumo final de energía está determinado por cuatro grandes sectores: industrial-minero (38%), transporte (33%), residencial-público-comercial (26%) y energético (3%). Del 26% de energía que consume el sector residencial-público-comercial, el 79% es consumo residencial. Estos consumos energéticos son utilizados principalmente a nivel país para calefacción (56% del consumo total en la vivienda), seguido del agua caliente sanitaria (18%) y la cocina (8%) [5].

Los desafíos para Chile en el sector energético son enormes. Entre ellos se pueden mencionar el problema del crecimiento en la demanda de energía, la dependencia energética, cambio climático o la expansión del sistema eléctrico, los cuales se resuelven implementando nuevas políticas públicas en la dirección de la construcción sustentable y la eficiencia energética.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Evaluación de las emisiones GEI en base al consumo energético de una vivienda social tipo para proponer futuras mejoras a la política actual.

1.2.2 Objetivos específicos

- Cuantificar el impacto de la Reglamentación Térmica Nacional actual en el uso de recursos energéticos de viviendas sociales.
- Cuantificar el impacto de la Reglamentación Térmica Nacional actual en las emisiones de efecto invernadero de viviendas sociales.
- Proponer modificaciones a la Reglamentación Térmica Nacional actual fundamentado en los resultados obtenidos.

1.3 Metodología

Para cuantificar los impactos de emisiones de gases de efecto invernadero, se modela una vivienda social tipo mediante el uso del Software *DesignBuilder*, con el propósito de conocer la demanda energética típica anual, además de un cálculo teórico para los mismos efectos. Se analizan 2 escenarios: uno óptimo y otro desfavorable, en relación de su demanda energética, a los cuales se les hace variar de manera general la orientación de la vivienda y el porcentaje de superficie vidriada de la envolvente. Ambos casos son explicados en las secciones siguientes. Luego con estos valores obtenidos para cada localidad escogida perteneciente a cada zona térmica de la Reglamentación Térmica actual, se procede a multiplicarlos por su correspondiente factor de emisión, valor que relaciona las emisiones de gases de efecto invernadero con la energía demandada, dependiendo en este caso del sistema eléctrico utilizado en la localidad.

La vivienda social analizada es de creación propia, con una estructuración similar a la hecha en estudios previos similares realizados [7]. Es una vivienda de tipo aislada que posee una superficie total de 47,7 m², en donde se encuentran 2 dormitorios, un living-comedor una cocina y un baño, cuyas dimensiones y recintos fueron obtenidos a partir de un promedio de entre 48 viviendas sociales del SERVIU del Maule (31 viviendas de 2 dormitorios y 17 de 3 dormitorios), tal como se observa en el Cuadro 2. Las dimensiones y arquitectura de esta vivienda y más detalles, como parámetros de la modelación mediante Software, datos climáticos utilizados, entre otros, se pueden revisar en el Anexo B.

Cuadro 2: Catastro superficie de viviendas sociales.

| Recintos | Superficie promedio [m ²] |
|--|---------------------------------------|
| Estar-comedor, baño, cocina, 2 dormitorios | 47,72 |
| Estar-comedor, baño, cocina, 3 dormitorios | 49,38 |

Fuente: Elaboración propia en base a Catálogo de Proyecto de viviendas tipo, SERVIU del Maule [8].

La altura de la vivienda, desde el nivel del piso al cielo es de 2,3 m. El techo, modelado como de 2 aguas, posee una pendiente de 20° con respecto a la horizontal, y sobresale horizontalmente 40 cm con respecto a los muros perimetrales. Con respecto a las ventanas, éstas serán de 1 o 2 metros de altura por ancho variable (se mencionará en cada caso), con un espacio entre el cielo de la vivienda y la parte superior de la ventana o ventanal de 30 cm. Al igual que el

caso anterior, las puertas tendrán 30 cm de espacio entre el cielo de la vivienda y la parte superior de la puerta. La altura de ellas es de 2 m y ancho 80 cm. Otros datos como espesores de muro, de techo piso, tabiques, entre otros, se encuentran en el Anexo B, aunque no son relevantes para este estudio, ya que lo que importa para obtener la demanda energética durante la etapa de uso de la vivienda es la transmitancia térmica del elemento (ya dada por la Reglamentación Térmica para cada zona térmica). Para entender mejor lo anterior, ver cómo se calcula la transmitancia térmica de los elementos de la envolvente del presente Capítulo, sección 1.3.2.2 Modelación teórica y entender el siguiente ejemplo: se puede obtener una transmitancia térmica de muros de $3 \text{ W/m}^2\text{K}$ con un muro de hormigón armado normal de espesor de 26,6 cm (conductividad térmica $\lambda = 1,63 \text{ W/mK}$), con un muro de aluminio de espesor 34,3 m (conductividad térmica $\lambda = 210 \text{ W/mK}$, material no aislante), con un muro de poliestireno expandido de espesor 6 mm (Conductividad térmica $\lambda = 0,0361 \text{ W/mK}$, material aislante), o tantos otros ejemplos.

1.3.1 Revisión bibliográfica

Se realiza una revisión bibliográfica de trabajos ya realizados con la utilización del Software *DesignBuilder*, con la finalidad de conocer los valores ingresados al programa en simulaciones energéticas similares, tanto en Chile como en otros países, y sus respectivos resultados, para tenerlos en cuenta en la modelación energética de la vivienda social en las distintas zonas térmicas.

Se analiza un estudio llamado “*The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa María RS*” [9], para conocer las variables para el caso de una oficina localizada en Santa María RS, Brasil, como también la Memoria de Título “Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120” [10], para el caso chileno. En ambos trabajos se centrará la atención principalmente en lo siguiente:

- Efecto de la orientación en demanda energética.
- Efecto de la cantidad de ventanas en fachadas en demanda energética.
- Parámetros utilizados en la modelación, tales como horarios de calefacción, características de la calefacción, potencia de equipos e iluminación, entre otros.
- Datos e información entregada tras la simulación energética.

Se realiza además otra revisión bibliográfica, del trabajo "Análisis técnico-económico en mejoras de eficiencia energética para viviendas de precio entre 1000-3000 UF" [11], con el objetivo de conocer la metodología de cálculo de la demanda energética teórica de la vivienda, considerando pérdidas y ganancias térmicas a través de su envolvente.

1.3.2 Modelación de la vivienda

1.3.2.1 Modelación a través de Software

Existen diversos programas computacionales capaces de realizar una simulación energética de una vivienda, incorporando diferentes características de ella. Algunos de ellos y sus principales características aparecen en el Cuadro 3:

Cuadro 3: Algunos programas de simulación energética.

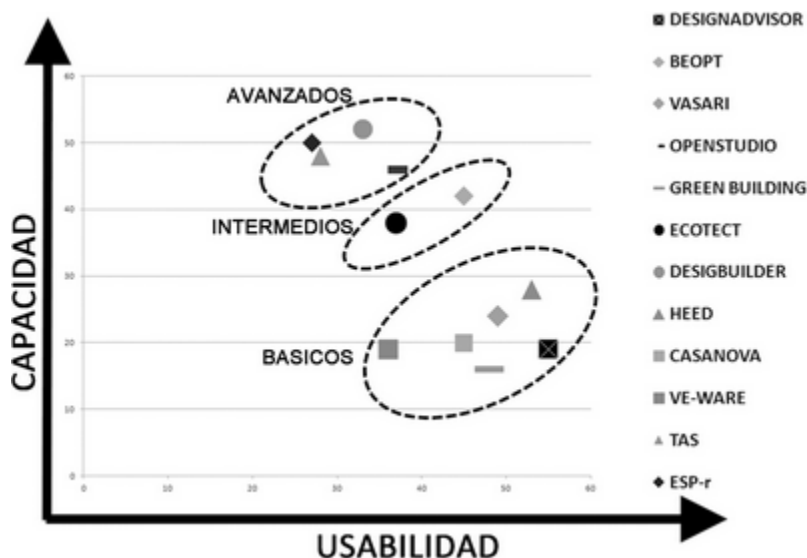
| | Programa/Servicio | Año de Inicio | Proveedor | Costo (dólares) | Características Principales |
|----|-----------------------|---------------|-------------------|-----------------|--|
| 1 | ESP-R | 1977 | U. Strathclyde | 0 | Gran capacidad de calculo y detalles avanzados, funciona en Windows, Mac y Linux |
| 2 | TAS | 1984 | EDSL | 7.000 | Modelación precisa y análisis detallado, preferido por especialistas |
| 3 | IES-VE (VE-WARE) | 1994 | IESVE | 61 a 9.000 | Buen cálculo hasta 5.000 zonas, con distintas versiones, permite modelar con Sketchup |
| 4 | CASANOVA | 2000 | U. Siegen | 0 | Fácil de utilizar y cálculos rápidos, pero de una sola zona y volumen simple |
| 5 | HEED | 2003 | UCLA | 0 | Funcionamiento intuitivo, sin modelación, se enfoca en análisis costo-beneficio de viviendas |
| 6 | DESIGNBUILDER con E+ | 2005 | DesignBuilder Co. | 308 a 4.187 | Cálculos avanzados usando Energy-Plus, con funcionamiento intuitivo y simple. |
| 7 | ECOTECT | 2008 | Autodesk | 800 a 1.200 | Fácil modelación, visualización y análisis, buena exportación y muy utilizado |
| 8 | GREEN BUILDING STUDIO | 2008 | Autodesk | 400 | Servicio de internet que permite ingresar archivos en formato gbxml y cálculos rápidos |
| 9 | OPEN STUDIO con E+ | 2008 | NREL | 0 | Permite modelar con Sketchup, calcula con Energy Plus |
| 10 | VASARI | 2010 | Autodesk | 0 | Cálculos sencillos pero variados y específicos de distintos volúmenes, exporta desde Revit |
| 11 | BEOPT con E+ | 2011 | NREL | 0 | Buen cálculo y asistencias, compara alternativas con análisis paramétrico |
| 12 | DESIGN ADVISOR | 2012 | MIT | 0 | Servicio de internet eficaz y completo |

Fuente: Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares.

Las mayores diferencias entre ellos radican en la facilidad de uso y sus capacidades, ya que entregan resultados de energía similares para un mismo modelo según este estudio [12], encontrando diferencias de hasta un 30% de disparidad en los resultados de los mismos indicadores, atribuidos a ciertas consideraciones técnicas y situaciones locales.

En la facilidad se contemplaron aspectos como la sencillez de modelación e ingreso de datos, menor tiempo de proceso, visualización de resultados, como también el precio (a menor costo, mayor facilidad de disponer el Software), simplicidad de instalación, atención de servicio o información, menor requerimiento de equipos o formación de los usuarios, etc. En las capacidades, se consideraron características como la variedad de análisis, precisión de los datos, adscripción a estándares y transferencia de archivos. En el Cuadro 4 aparece un resumen de lo encontrado en esta investigación:

Cuadro 4: Resumen comparativa de capacidades y usabilidad.



Fuente: Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares.

Los programas como ESP-r, TAS y *DesignBuilder* se distinguen por su mayor nivel de detalle en la modelación y la gran cantidad de valores que se le pueden ingresar, tales como características de materiales, archivos climáticos, descripción de equipamientos, entre otros. La desventaja con respecto a programas más sencillos es que la modelación de una vivienda puede tardar varias horas más o incluso días dependiendo de su complejidad. Sin embargo, lo que se requiere en esta ocasión es un programa avanzado, con soporte y reconocimiento a nivel nacional como internacional y buena usabilidad. Es por esto que se ha escogido utilizar *DesignBuilder* con su motor de cálculo *Energy Plus*.

Para el cálculo de demanda energética, *DesignBuilder* utiliza el Método de Balance de Calor (*Heat Balance Method*), el cual modela 4 componentes de la transferencia de calor:

- Conducción a través de los materiales de la vivienda.
- Convección del aire.
- Absorción y reflexión de la radiación de onda corta.
- Intercambio radiante de onda larga.

La radiación de onda corta incidente proviene de la radiación solar que llega a las zonas a través de las ventanas y de fuentes internas de luz. El intercambio de radiación de onda larga incluye el grado de absorción y de emisión de fuentes de baja temperatura, de otras fuentes como equipos y personas, entre otras.

El calor producido por una persona incluye componentes convectivas, radiativas y latentes. Un algoritmo interno determina la fracción que corresponde a calor sensible y a calor latente. Luego el calor sensible es dividido en partes iguales entre calor radiativo y convectivo. Los datos sobre generación de calor metabólico son obtenidos del ASHRAE *Handbook "2001 Fundamentals"*.

Otro supuesto importante del Software *DesignBuilder* es que la radiación solar directa es absorbida por el piso de la zona de acuerdo a las características propias de éste. Nada de lo reflejado en el piso es añadido a la radiación solar difusa transmitida, la cual se asume uniformemente distribuida en las superficies interiores.

Otra alternativa viable es utilizar el software de Certificación de Comportamiento Térmico para Edificios en Chile (CCTE, v2.0 del año 2008), instrumento creado por el MINVU que permite estimar la demanda y consumo energético en calefacción y refrigeración para las viviendas en Chile, además de acreditar el cumplimiento de la Reglamentación Térmica vigente. Sin embargo, no existen muchos estudios de análisis de viviendas realizados con esta herramienta, además de no ser un programa tan detallado como lo es *DesignBuilder*, por lo que se decide descartar.

La vivienda descrita anteriormente se modela a través del Software *DesignBuilder*, para conocer en primera instancia su demanda energética anual. Para cada zona térmica de la Reglamentación Térmica (ver Capítulo 2, sección 2.1.2 Reglamentación Térmica), se analizan 2 casos: uno óptimo y otro desfavorable. El caso óptimo, para la minimización de la demanda energética anual supone:

- Utilización de doble vidrio hermético en todas las ventanas de la vivienda.
- Orientación de las ventanas preferentemente al Norte. Cuando ya no sea posible agregar ventanas en la fachada Norte, se prefiere continuar con las fachadas Este y Oeste, con nula superficie vidriada al Sur.
- Cantidad de superficie vidriada variable.

El caso desfavorable, para la maximización de la demanda energética anual supone:

- Utilización de ventanas de vidrio simple en toda la vivienda.
- Orientación de las ventanas al Sur.
- Cantidad de superficie vidriada variable.

Tanto ganancias como pérdidas térmicas son calculadas por el programa de manera interna, por lo cual no se detalla su metodología.

En el Cuadro 5 se pueden apreciar las diferencias generales entre ambos casos a modo de resumen:

Cuadro 5: Diferencias generales entre casos óptimo y desfavorable.

| Ventanas | Caso óptimo | Caso desfavorable |
|-------------|-----------------------|-------------------|
| Tipo | Doble | Simple |
| Orientación | Norte preferentemente | Sur |
| Cantidad | Media | Baja |

Con lo anterior, se busca minimizar las pérdidas caloríficas de la vivienda y maximizar las ganancias para el caso óptimo, lo opuesto para el caso desfavorable. Notar que para el caso óptimo, se orientan las ventanas preferentemente hacia el Norte, sin embargo, cuando esta fachada ya no tenga más espacio para ellas, se prefieren las orientaciones Este y Oeste.

A continuación se explica la cantidad de superficie vidriada variable mencionada anteriormente. La cantidad de ventanas con respecto a muros para cada caso se detalla en el Cuadro 6:

Cuadro 6: Porcentaje de ventanas con respecto a parámetros verticales de la envolvente.

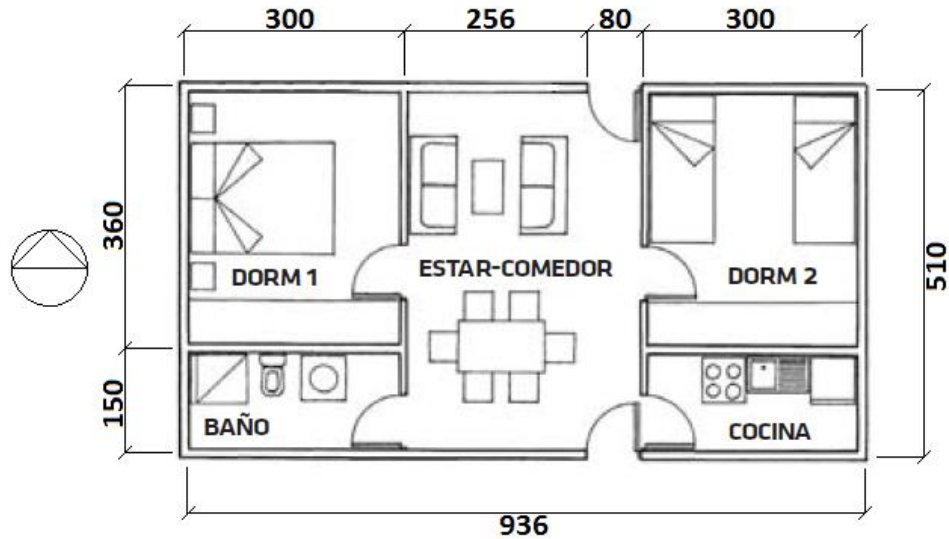
| Zona | Cantidad ventanas [%] | |
|------|-----------------------|-------------------|
| | Caso óptimo | Caso desfavorable |
| 1 | 80 | 0 |
| 2 | 67 | 2 |
| 3 | 53 | 4 |
| 4 | 40 | 6 |
| 5 | 27 | 8 |
| 6 | 13 | 10 |
| 7 | 0 | 12 |

La lógica de lo anterior es que a mayor porcentaje de superficie vidriada de la vivienda en el Norte del país, se maximizan las ganancias caloríficas, mientras que en el Sur se maximizan las pérdidas caloríficas. Por lo tanto, para el caso óptimo se busca el mayor porcentaje de superficie vidriada posible en el Norte, mientras que en el Sur se busca el menor porcentaje. Caso contrario con en el caso desfavorable, donde se busca el menor porcentaje de superficie vidriada posible en el Norte, y el mayor en el Sur. Sin embargo, existen restricciones en la Reglamentación Térmica al porcentaje máximo de superficie vidriada de viviendas (no así explícitamente para el mínimo porcentaje en la OGUC), tal como lo muestra el Cuadro 11 de la sección 2.1.2 Reglamentación Térmica, dependiendo del tipo de ventana utilizado. Para el caso óptimo, se fija el máximo porcentaje de superficie vidriada para doble vidriado hermético en la zona térmica 1, luego baja linealmente a 0 hasta la zona térmica 7. Para el caso desfavorable, se fija el máximo porcentaje de superficie vidriada para vidrio monolítico en la zona térmica 7, luego baja linealmente a 0 hasta la zona térmica 1.

Para realizar este análisis, se escogen 4 tipos de sistemas de calefacción a modelar para ambos casos: leña, estufa a parafina, estufa eléctrica y bomba de calor. Cada sistema posee diferentes eficiencias asociadas a la generación de energía calórica, por lo que se espera observar cambios en la demanda energética anual. No se considera en ningún recinto el uso de aire acondicionado, dada la naturaleza de la vivienda analizada.

Finalmente se modifica la orientación de la vivienda dejando fijos parámetros en los apartados *Activity, construction, openings, lighting* y *HVAC*, con el fin de visualizar su efecto o sensibilidad en la energía demandada.

Ilustración 2: Plano vivienda con orientación 0° Norte definida.



Se analizan 8 variaciones de la orientación de la vivienda con respecto al Norte, mostrado en la Ilustración 2: 0° Norte, 45° Noroeste, 90° Oeste, 135° Sudoeste, 180° Sur, 225° Sudeste, 270° Este y 315° Noreste.

Las localidades escogidas por zona térmica para el cálculo de la demanda energética son las indicadas en el Cuadro 7:

Cuadro 7: Localidades escogidas para cálculo mediante Software.

| Zona | Localidad |
|------|--------------|
| 1 | Iquique |
| 2 | Ovalle |
| 3 | Pudahuel |
| 4 | Concepción |
| 5 | Temuco |
| 6 | Puerto Montt |
| 7 | Punta Arenas |

Esta elección es tomada mediante 3 criterios: se desea mayor confiabilidad en datos climáticos del programa (expresado en la existencia de la localidad en el Software, ya que datos climáticos de localidades no existentes son obtenidas mediante triangulación de las existentes), menor temperatura media mínima (para obtener mayores demandas energéticas) y mayor popularidad de la localidad. La localidad de Calama, perteneciente a la zona térmica 2, pudo haber sido considerada para su análisis, sin embargo se decide no ocuparla por la gran oscilación de temperatura existente que hace que dicho clima sea muy particular. A continuación se muestran algunas alternativas analizadas por zona térmica:

- a) ZT1: Arica, Iquique (menor temperatura media mínima), Antofagasta, Copiapó (menor confiabilidad de datos que Iquique) y La Serena (menor confiabilidad de datos que Iquique).
- b) ZT2: Calama (localidad muy particular, con oscilación de temperatura muy alta), Ovalle (menor temperatura media mínima), Valparaíso.
- c) ZT3: Rancagua, Santiago (mayor población y datos más confiables).
- d) ZT4: Constitución (menor población), Concepción (menor temperatura media mínima), Talca, Los Ángeles (menor confiabilidad de datos que Concepción).
- e) ZT5: Temuco (mayor población), Osorno, Santiago (Lo Barnechea), Valdivia.
- f) ZT6: Pucón, Puerto Montt (mayor población y datos más confiables), Puerto Varas, Chaitén.
- g) ZT7: Aisén, Coyhaique, Punta Arenas (mayor población y datos más confiables).

Existen muchas limitaciones a esta metodología de cálculo, las cuales deben ser mencionadas. Entre las más destacables se encuentran:

- No está modelada directamente la humedad al interior de la vivienda, por ejemplo en recintos como baños y cocinas, la cual hace generalmente disminuir la calidad del ambiente interior.
- No está incluido el uso de energías renovables.
- Puede que existan localidades que entreguen valores mayores de demanda energética para cada zona térmica, dado que estas son muy extensas.
- Casos óptimo y desfavorable puede que no sean los casos más extremos posibles.
- La cantidad de horas al día de uso de la calefacción, equipos e iluminación depende fuertemente de los hábitos de las personas en el interior de la vivienda, lo que hace variar la demanda energética.
- Dificultad en modelar diferentes tipos de tabiques interiores y sus correspondientes puentes térmicos.
- Confiabilidad de los datos climáticos del Software.

Pese a estas limitaciones, finalmente se obtiene un valor de demanda energética anual aproximado mediante Software de la vivienda, que puede ser utilizado para calcular las correspondientes emisiones de gases de efecto invernadero, valores que no deben ser tomados como absolutos.

1.3.2.2 Modelación teórica

Al igual que el caso de modelación a través de Software, se analizan 2 casos para la obtención de la demanda energética anual de la vivienda: óptimo y desfavorable. Ambos casos consideran pérdidas debido a transmisión de la envolvente, infiltración a través de la envolvente y por ventilación de los recintos. Para el caso de las ganancias energéticas, se consideran las obtenidas por la radiación solar a través de ventanas, las aportadas por el calor latente y sensible emitido por las personas y por aportes de equipos electrónicos e iluminación.

Las pérdidas caloríficas por transmisión de la envolvente de la vivienda se calculan de la siguiente manera:

$$Q_{transmisión} = \sum_i U_i A_i * \Delta T * \frac{24}{1000}$$

Donde:

- $Q_{transmisión}$: Pérdidas caloríficas por transmisión de la envolvente. Unidades: [kWh].
- U_i : Transmitancia térmica del elemento i de la envolvente. Unidades: [W/m²K].
- A_i : Superficie del elemento i de la envolvente. Unidades: [m²].
- ΔT : Diferencia de temperatura entre el interior y exterior de la vivienda. En este caso, se utilizan los grados-día, cuyas unidades son [K] o [°C] (indiferente).

Por elementos de la envolvente se entiende como muros, ventanas, puertas, techumbre y pisos de la vivienda. Los valores de las transmitancias térmicas de muros, pisos ventilados y techumbre se encuentran en la Reglamentación Térmica (ver Cuadro 10 del Capítulo 2, sección 2.1.2 Reglamentación Térmica). Para puertas y ventanas, se procede a calcular la transmitancia térmica como aparece en la norma NCh853-2007:

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

Donde:

U: Transmitancia térmica de ventanas o puertas. Unidades: [W/m²K].

R: Resistencia térmica de ventanas o puertas. Unidades: [m²K/W].

R_{si}: Resistencia térmica de la superficie al interior de la vivienda. Unidades: [m²K/W].

e: Espesor del elemento. Unidades: [m].

λ : Conductividad térmica del elemento. Unidades: [W/mK].

R_{se} : Resistencia térmica de la superficie al exterior de la vivienda. Unidades: [m²K/W].

Los valores de R_{si} y R_{se} se obtienen de la Tabla 2 de la norma NCh853-2007, mientras que los valores de conductividad térmica se encuentran en el Anexo A de la misma.

La superficie vidriada de la envolvente para cada zona térmica es la misma que la asumida para el caso de modelación mediante Software.

Los grados-día se definen como la suma de las diferencias entre una temperatura base y la temperatura media diaria de una localidad, a lo largo de un período, como por ejemplo un año. En este caso, se elige una temperatura base de confort de 20 °C. Los valores de los grados-día de las distintas localidades se obtienen de una memoria del Departamento de Ingeniería Civil del año 2011 [21].

Las pérdidas caloríficas por infiltración a través de la envolvente de la vivienda se calculan de la siguiente manera:

$$Q_{infiltración} = \frac{ACH}{h} * A * h * d * c_p * \Delta T * \frac{24}{3600000}$$

En donde el valor de ACH/h corresponde a renovaciones de aire por hora (unidades: [1/h]) por infiltración, valor que se obtiene de la Tabla 3 del Capítulo 25 del ASHRAE *Handbook "1997 Fundamentals"*, donde se pueden obtener valores para los escapes de aire efectivo por área de la envolvente de la vivienda. Se ocupa la siguiente fórmula para obtener ACH/h:

$$\frac{ACH}{h} = \frac{3,6}{A * h} * \sum_i A_{1i} * \sqrt{C_s * \Delta T' + C_w * V^2}$$

Donde:

- $Q_{infiltración}$: Pérdidas caloríficas por infiltración a través de la envolvente. Unidades: [kWh].
- A: Superficie de la vivienda. Unidades: [m²].
- h: Altura de la vivienda. Unidades: [m].
- d: Densidad del aire. Unidades: [kg/m³].

- c_p : Calor específico del aire. Unidades: [J/kg°C].
- A_{1i} : Área del escape de aire efectivo del elemento i . Unidades: [cm²].
- C_s : Coeficiente de Snack. Unidades: [(l/s)²/cm⁴K].
- ΔT : Diferencia de temperatura entre el interior y exterior de la vivienda. En este caso, se utilizan los grados-día, cuyas unidades son [K] o [°C] (indiferente).
- $\Delta T'$: Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior. Unidades: [°C].
- C_w : Coeficiente de viento. Unidades: [(l/s)²/cm⁴(m/s)²].
- V : Velocidad promedio del viento. Unidades: [m/s].

Las pérdidas caloríficas por ventilación de los recintos de la vivienda se calculan de manera similar a las pérdidas por infiltración:

$$Q_{\text{ventilación}} = \frac{ACH}{h} * A * h * d * c_p * \Delta T * \frac{24}{3600000}$$

Con:

$$\frac{ACH}{h} = \frac{1}{A} * \sum_i \left(\frac{ACH}{h} \right)_i * A_i$$

Donde en este caso:

- A_i : Superficie del recinto i de la vivienda. Unidades: [m²].

La única diferencia radica en el valor de renovaciones de aire por hora (ACH/h), el cual para el caso de ventilación es difícil de predecir. Sin embargo, en el Anexo de la norma NCh1960.Of89 se pueden encontrar rangos de valores para los distintos recintos, los cuales serán utilizados. En el Cuadro 8 aparecen dichos rangos:

Cuadro 8: Valores de renovaciones de aire por hora por recinto de la norma NCh1960.Of89.

| Tipo de recinto | ACH/h |
|---------------------------|---------|
| Baño con W.C. | 2 – 3 |
| Baño con ducha | 5 – 8 |
| Cocina | 3 – 4 |
| Lavado y secado de ropa | 6 – 8 |
| Estar, comedor | 1 – 1,5 |
| Dormitorio (1 cama) | 1 |
| Dormitorio (2 camas) | 1 – 1,5 |
| Dormitorio (3 ó 4 camas) | 1,5 – 2 |
| Otros recintos habitables | 1 – 1,5 |

Las ganancias caloríficas obtenidas por la radiación solar a través de ventanas se calculan de la siguiente manera:

$$Q_{radiación} = \frac{\sum_i A_{v_i} * R_i}{3,6}$$

Donde:

- $Q_{radiación}$: Ganancias caloríficas por radiación solar a través de ventanas. Unidades: [kWh].
- A_v : Superficie de ventana de la vivienda. Unidades: [m^2].
- i : Orientación de la vivienda (i = norte, este, sur u oeste).
- R : Irradiancia solar de la localidad. Unidades: [MJ/m^2].

La irradiancia solar es proporcionada por el Registro Solarimétrico [24], registro creado por la Universidad Técnica Federico Santa María. Un supuesto importante a mencionar es que se considera que la irradiancia solar es igual tanto para la orientación Este que para Oeste (en el mismo Registro Solarimétrico se hace este supuesto), además de que todo el calor que pasa a través de las ventanas es aprovechable para calefacción.

Las ganancias caloríficas aportadas por el calor latente (variación del contenido de humedad del ambiente) y sensible (variación de la temperatura seca del ambiente) emitido por las personas se calculan de la siguiente manera:

$$Q_{ls} = (Q_l + Q_s) * n_p * h * \frac{d}{1000}$$

Donde:

- Q_{ls} : Ganancia calorífica aportada por calor latente y sensible emitido por las personas. Unidades: [kWh].
- Q_l : Ganancia calorífica aportada por el calor latente. Unidades: [W].
- Q_s : Ganancia calorífica aportada por el calor sensible. Unidades: [W].
- n_p : Número de personas que habitan la vivienda. Adimensional.
- h : Horas de ocupación promedio de la vivienda. Unidades: [h].
- d : Cantidad de días del mes considerado. Adimensional.

Las ganancias caloríficas aportadas por equipos electrónicos e iluminación se calculan de la siguiente manera:

$$Q_{ei} = (P_e + P_i) * A * h * \frac{d}{1000}$$

Donde:

- Q_{ei} : Ganancias caloríficas aportadas por equipos electrónicos e iluminación. Unidades: [kWh].
- P_e : Potencia de los equipos. Unidades: [W/m²].
- P_i : Potencia de la iluminación. Unidades: [W/m²].
- A : Área de la vivienda. Unidades: [m²].
- h : Horas de ocupación promedio de la vivienda. Unidades: [h].
- d : Cantidad de días del mes considerado. Adimensional.

Los casos óptimo y desfavorable en este caso son los mismos que para la modelación de la vivienda a través de Software explicados anteriormente.

Las localidades escogidas por zona térmica para el cálculo de la demanda energética son las indicadas en el Cuadro 9:

Cuadro 9: Localidades escogidas para cálculo teórico.

| Zona | Localidad |
|------|-----------------|
| 1 | Iquique |
| 2 | Ovalle |
| 3 | Pudahuel |
| 4 | Concepción |
| 5 | Puerto Saavedra |
| 6 | Lago Chapo |
| 7 | Punta Arenas |

Esta elección de localidades es debido a que se requiere que coincidan con las elegidas para el caso modelación a través de Software y que se tenga información de irradiancia y grados-día en estas localidades. Para las zonas térmicas 5 y 6, las localidades más cercanas a las originales (Temuco y Puerto Montt, respectivamente) con los datos requeridos son Puerto Saavedra (comuna de la Provincia de Cautín en la IX Región de la Araucanía) y Lago Chapo (perteneciente a la Provincia de Llanquihue, X Región de Los Lagos, 115 km al Sudeste de Puerto Varas y a 43 km al Noreste de Puerto Montt).

Existen limitaciones a esta metodología de cálculo, las cuales deben ser mencionadas. Entre las más destacables se encuentran:

- No está modelada la humedad al interior de la vivienda, por ejemplo en recintos como baños y cocinas, la cual hace generalmente disminuir la calidad del ambiente interior.
- No distingue entre diferentes fuentes de calefacción.
- Por simplicidad en los cálculos, el efecto de la orientación en muros y techumbre no está incluido, sólo en ventanas.
- No está incluido el uso de energías renovables.
- Puede que existan localidades que entreguen valores mayores de demanda energética para cada zona térmica, dado que estas son muy extensas.
- Casos óptimo y desfavorable puede que no sean los casos más extremos posibles, dado los supuestos mencionados anteriormente.
- La cantidad de horas al día de uso de la calefacción, equipos e iluminación es una estimación que puede no ajustarse a la realidad.
- No se consideran eficiencias de todo tipo.
- Supuestos de orientación de la irradiancia no son reales.
- No se considera la inclinación de la incidencia de la radiación solar en la envolvente de la vivienda.
- No se considera el fenómeno de la inercia térmica: la propiedad de la vivienda que indica la cantidad de calor que puede conservar al interior de ella y la velocidad con que lo cede o absorbe.
- Se está suponiendo que toda la energía que pasa a través de las ventanas es aprovechable para el confort térmico, lo cual no es real.

Pese a estas limitaciones, finalmente se obtiene un valor de demanda energética aproximado, considerando principales ganancias y pérdidas térmicas en la vivienda.

1.3.2 Cálculo del impacto sobre el cambio climático

Para los sistemas eléctricos SIC y SING, los factores de emisión utilizados se encuentran en estudios hechos por el Ministerio de Energía y la AChEE [25]. El factor de emisión del Sistema Eléctrico de Magallanes se calcula con una de las metodologías utilizadas por el Ministerio de Energía para los factores de emisión del SIC y SING:

$$FE = \frac{\sum_i EP_i * FE_i}{\sum_i EP_i}$$

Donde EP_i es la energía producida por la central i [27] y FE_i es el factor de emisión asociado a la central i . Este último factor depende del tipo de combustible utilizado en la central y de su eficiencia asociada, tal como se muestra en la siguiente relación:

$$FE_i = \frac{FE_{comb}}{\eta_{comb}}$$

En donde FE_{comb} es el factor de emisión asociado al tipo de combustible utilizado por la central i y η_{comb} es la eficiencia del tipo de combustible utilizado por la central i . Si es que la central posee una combinación de 2 combustibles para la generación de energía, se opta por promediar FE_{comb} , como también η_{comb} .

El impacto final sobre el cambio climático se calcula mediante la multiplicación de la energía demandada por la vivienda con el factor de emisión correspondiente a la zona térmica, obteniendo finalmente una cantidad de CO_2 equivalente emitido por unidad de área al año.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Construcción sustentable a nivel nacional

2.1.1 Política actual en Chile

El Convenio Interministerial de Construcción Sustentable del MOP, MINVU, Ministerio de Energía y Medioambiente, define construcción sustentable como: “Un modo de concebir el diseño arquitectónico y urbanístico, que se refiere a la incorporación del concepto de sustentabilidad en el proceso de planificación, diseño, construcción y operación de las edificaciones y su entorno, que busca optimizar los recursos naturales y los sistemas de edificación, de tal modo que minimicen el impacto sobre el medio ambiente y la salud de las personas”.

La construcción sustentable es un gran desafío en Chile, cuyo objetivo es el de mejorar la calidad de vida de las personas y su entorno. Es por esto que entre los cuatro ministerios nombrados anteriormente, MOP, MINVU, Ministerio de Energía y el de Medioambiente, se está actualmente generando una estrategia de construcción sustentable. El 1 de agosto de 2012 se firmó el Convenio Interministerial de Construcción Sustentable con el objetivo de coordinar, promover, difundir y fomentar la construcción sustentable en el país.

En la misma línea del convenio interministerial de construcción sustentable, se ha creado la Secretaría Ejecutiva de Construcción Sustentable, cuyo objetivo es alinear a los cuatro ministerios involucrados y a los actores interesados, en el avance y consecución de objetivos. También se ha elaborado una “Estrategia Nacional de Construcción Sustentable” (o ENCS), instrumento que tiene por objetivo ser una herramienta orientadora que establezca los principales lineamientos para impulsar la integración del concepto de desarrollo sustentable en el área de la construcción en Chile. En este instrumento se analizan las distintas variables de los criterios de sustentabilidad que pueden presentar las edificaciones e infraestructuras, cuya implementación conjunta permite establecer una construcción sustentable. Estas variables son la energía, el agua, los residuos, la salud y bienestar y el manejo/operación de las construcciones. Dichas variables deben ser consideradas, cuando corresponda, durante todo el ciclo de

vida de lo que se construye. Los principales resultados que se espera obtener con el desarrollo de esta Estrategia son los siguientes:

- Edificaciones e infraestructura con consideraciones de sustentabilidad al año 2020.
- Aportar desde el sector comercial, público, residencial al compromiso de reducción del 12% del consumo energético proyectado al año 2020.
- Aportar desde el sector de la construcción a la reducción del 20% de gases efecto invernadero, tomando como base las emisiones proyectadas al año 2020.
- Aportar desde el sector de la construcción a que un 10% de la energía generada sea por fuentes renovables no convencionales al año 2024.

Esta Estrategia se constituye de 4 ejes estratégicos que agrupan y desarrollan los asuntos prioritarios para el avance de la construcción sustentable en nuestro país, los cuales son: hábitat y bienestar, educación, innovación y competitividad y por último gobernanza.

A principios del mes de diciembre del año 2014, acorde a las conclusiones acerca de los efectos del cambio climático del quinto informe del IPCC mencionadas anteriormente, se aprobó en Chile el “Plan nacional de adaptación al cambio climático”, impulsado por el Ministerio del Medio Ambiente, el cual entrega el marco conceptual y los lineamientos para la adaptación en el país, y articula los planes sectoriales de adaptación para los sectores definidos como prioritarios; silvoagropecuario, biodiversidad, pesca, salud, infraestructura, recursos hídricos, energía, ciudades y el sector turismo. Debido a que este plan es reciente, algunos de los planes de adaptación para cada sector están aún en fase de análisis, como lo es el caso del sector infraestructura, atingente a las viviendas y edificaciones, en donde se consideran las siguientes líneas de acción para la adaptación al cambio climático [20]:

- Incorporación de análisis de impactos de cambio climático en la evaluación de obras de infraestructura y metodología para infraestructura específica.
- Sistema de monitoreo de las obras de infraestructura.
- Planes regionales de contingencia frente a la destrucción de infraestructura mayor. Mapas de vulnerabilidad y zonas de riesgo.

- Desarrollo de infraestructura y defensas para protección de la vida de las personas y los bienes, en sectores de borde marítimo y cauces.
- Consideración de los efectos del cambio climático en el desarrollo de planes reguladores y planificación urbana y rural.
- Desarrollo de la Infraestructura de Riego, de acuerdo a los ejes de la Estrategia Nacional de Riego de la CNR: Regulación (grandes obras, recarga de acuíferos), Conducción (obras medianas), Nuevas fuentes, Tecnificación.

Actualmente se está trabajando en la creación de un código de procedimientos, tecnologías y materialidades, elaborado de acuerdo a estándares de sustentabilidad, específicamente para la realidad de nuestro país, llamado “Código de Construcción Sustentable para Viviendas”, el cual responde al objetivo estratégico 05 declarado en la Estrategia Nacional de Construcción Sustentable (ENCS), referido a “desarrollar el concepto de construcción sustentable en el país, estableciendo estándares adecuados”, y en especial al objetivo específico 05.1 referido a “definir estándares de construcción sustentable”. Esta herramienta está siendo desarrollada en conjunto con *Building Research Establishment (BRE)*, organización británica que se dedica a la consultoría, capacitación y análisis de estándares de construcción sustentable. Este código es de uso opcional, pero en un mediano plazo se espera que adquiera carácter obligatorio en su aplicación.

El Código de Construcción Sustentable para Viviendas es una guía de buenas prácticas para mejorar el desempeño ambiental de las viviendas, utilizando criterios objetivos y verificables. Es un código nacional para ser utilizado en el diseño y construcción de viviendas nuevas o en viviendas renovadas, y para promover la mejora continua en la construcción sustentable. Cubre las siguientes 4 categorías principales de sustentabilidad: energía, agua, residuos y salud y bienestar. También incluye varios temas adicionales que no clasifican dentro de las 4 categorías principales, los que se han agrupado en una categoría llamada “Otros”. Dentro de la categoría Energía, se establecen restricciones para la correcta aislación de la envolvente en techos, muros, pisos, ventanas, en donde se mencionan valores máximos de transmitancia térmica de los elementos, tal como lo hace la Reglamentación Térmica Nacional, perteneciente al artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), la cual en estos momentos su utilización es de carácter obligatorio. También dentro de esta categoría, se establecen restricciones para las infiltraciones mediante las renovaciones de aire permitidas por zona térmica, para sistemas de calefacción y refrigeración mediante el CoP (*Coefficient of Performance*) y otros métodos, para la iluminación interior y exterior de viviendas a través del nivel de iluminación (lux), índice de rendimiento de color, entre otros métodos, para energías renovables,

para electrodomésticos y para el monitoreo y medición de la energía. En la categoría Agua, se abordan el consumo de agua interno (restricción al consumo de agua por persona al día y como minimizarlo) y externo (restricciones al sistema de riego de jardines, cantidad de agua utilizada, recolección de aguas lluvia y como lograrlas), además del control y supervisión del agua (sistemas de medición de agua y detección de fugas de agua). En la categoría Residuos, se trata la minimización de residuos, la gestión de residuos en la construcción y en la operación de edificaciones. Aspectos como la calidad del aire al interior de la vivienda, confort térmico, acústico y lumínico, seguridad y riesgos se abordan en la categoría Salud y bienestar. Finalmente dentro de la categoría Otros, se pueden encontrar recomendaciones para los usuarios de la vivienda, aspectos del ciclo de vida de los materiales utilizados (análisis y reducción de materiales), emisiones GEI (niveles de emisiones de NO_x bajo un umbral e impactos de refrigerantes en la capa de ozono), cercanía a servicios básicos, entre los más relevantes.

A modo de hoja ruta para construir y ejecutar una política energética de largo plazo con validación social, política y técnica, se ha creado la Agenda Energética a través del Ministerio de Energía, del año 2014. Esta Agenda hace referencia a la matriz energética del país, que busca ser diversificada, equilibrada y que garantice al país mayores niveles de soberanía en sus requerimientos de energía. Si bien no hace referencia directamente al cambio climático y sus efectos en el medioambiente, compromete la utilización de energías renovables no convencionales (ERNC), lo cual disminuye la quema de combustibles fósiles respecto a fuentes de generación de energía convencionales. Además, Chile importa el 60% de su energía primaria [13], lo cual provoca una dependencia a la inestabilidad y volatilidad de los precios en los mercados internacionales. Las metas y objetivos de esta Agenda son los siguientes [14]:

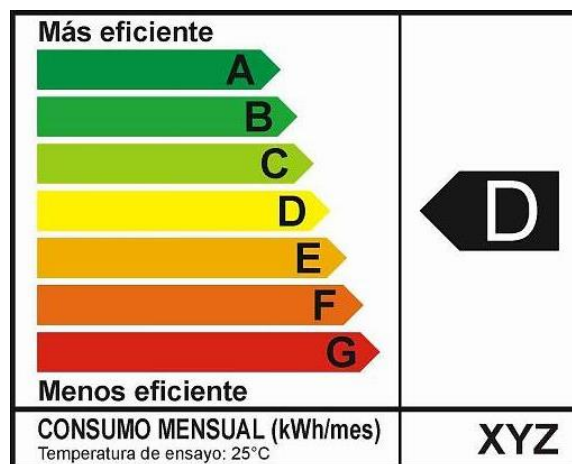
- Reducir los costos marginales de electricidad entre 2013 y 2017 en un 30% en el Sistema Interconectado Central (SIC), de manera que el costo marginal promedio del año 2013 de 151,36 US\$/MWh sea inferior a 105,96 US\$/MWh en el año 2017.
- Reducir en un 25% los precios de las licitaciones de suministro eléctrico de la próxima década para hogares, comercios y pequeñas empresas respecto a los precios ofertados en la última licitación del año 2013 (que fueron de 128,2 US\$/MWh). Para ello, se deben desarrollar los proyectos hidroeléctricos y termoeléctricos consignados en el Plan de Obras de la Comisión Nacional de Energía (CNE).
- Levantar las barreras existentes para las ERNC del país, comprometiendo que un 45% de la capacidad de generación eléctrica que se instalará en el país

entre los años 2014 a 2025 provenga de este tipo de fuentes, cumpliendo de esta manera la meta de un 20% de inyección de ERNC en nuestro sistema eléctrico para el año 2025, conforme a la ley vigente.

- Fomentar el uso eficiente de la energía como un recurso energético, estableciendo una meta de ahorro de 20% al año 2025, considerando el crecimiento esperado en el consumo de energía del país para esa fecha. La implementación de la Agenda de Eficiencia Energética (EE) permitiría ahorrar al 2025 un total de 20.000 GWh/año, lo que equivale a una capacidad instalada a carbón de 2.000 MW.
- Diseñar un sistema de estabilización de precios a los combustibles que reduzca de manera efectiva la volatilidad de los precios combustibles a la que están expuestos los hogares.
- Transformar a ENAP en una empresa robusta de forma tal que sea un actor sólido y con protagonismo en los desafíos energéticos del país. Con ese fin, se le proveerá de un régimen de gobierno corporativo que mejore su gestión empresarial —comenzando con sus índices de seguridad en el trabajo como también de su eficiencia, productividad, nuevos emprendimientos y modelo de negocios— y se fortalecerá su balance financiero con un aporte de capital.
- Desarrollar al año 2015 una Política Energética, de largo plazo, validada por la sociedad chilena, mediante un proceso participativo y regional.

Otra iniciativa impulsada por el MINVU y el Ministerio de Energía es la creación de la Calificación Energética de Viviendas (CEV), cuyo uso actualmente es voluntario, que califica la eficiencia energética de una vivienda nueva en su etapa de uso, que considera requerimientos de calefacción, iluminación y agua caliente sanitaria.

Ilustración 3: Calificación energética de viviendas.



Con la CEV las residencias calificadas contarán con una etiqueta con colores y letras, que van desde la A a la G, siendo esta última la menos eficiente (ver Ilustración 3). La letra E representa el estándar actual de construcción, establecido en el artículo 4.1.10 de la OGUC, para aislación en muros, pisos ventilados y techo, a partir del año 2007.

Existe una precalificación y una calificación energética. La precalificación energética se realiza en proyectos de arquitectura que tengan permiso de edificación aprobado por el director de Obras Municipales. Es provisoria y su vigencia es válida hasta que el proyecto obtenga la recepción municipal definitiva. La Calificación energética corresponde a la evaluación final y definitiva de la obra terminada. Para emitirla se califica nuevamente el proyecto, según los planos y especificaciones técnicas finales, con recepción municipal aprobada por el director de Obras Municipales, y la documentación adicional acreditada por el propietario. Tiene una duración de 10 años, o hasta que se realice alguna modificación que altere los parámetros con los que fue evaluada la vivienda.

Una vivienda con buena calificación energética contribuirá a mejorar las condiciones de confort térmico al interior de los hogares, reduciendo riesgos de contraer enfermedades respiratorias y otras asociadas a períodos invernales. Por otra parte, contar con información objetiva sobre el comportamiento energético de una vivienda, beneficiará principalmente a sus potenciales compradores, quienes podrán comparar las distintas ofertas que hay en el mercado y elegir sabiendo cuál se comporta mejor energéticamente.

En esta misma línea, se ha creado un sistema “Certificación Edificio Sustentable”, cuyo objetivo es evaluar, calificar y certificar el grado de sustentabilidad ambiental de un edificio, entendiendo ésta como la capacidad de un edificio de lograr niveles adecuados de calidad ambiental interior, con un uso eficiente de recursos y naja generación de residuos y emisiones.

Finalmente, se ha creado el “Programa de Innovación en Construcción Sustentable” (PICS) en el año 2013, respondiendo a la ENCS, iniciativa que busca lograr la articulación de actores públicos y privados con el propósito de capturar las oportunidades de negocios existentes en el mercado y aumentar la competitividad de las empresas del sector. El programa es liderado por la CORFO, la CChC y el MINVU, tiene soporte operativo de la CDT y es apoyado por un Consejo Directivo compuesto por el Colegio de Arquitectos, ChileGBC, el Instituto de la Construcción, MOP, MMA, Ministerio de Energía y Portal Inmobiliario. Como objetivos más específicos se pueden nombrar:

- Fortalecer la demanda por construcción sustentable como mecanismo para gatillar el cambio de la cadena de valor completa, tanto a través de difusión de información requerida para la toma de decisiones, como del fomento al acceso a la oferta existente por parte de los consumidores.
- Fortalecer la oferta de construcción sustentable, mediante la promoción del conocimiento y quiebre de asimetrías de información a través del desarrollo de canales válidos de comunicación e información.
- Propiciar instancias de dialogo y retroalimentación entre los actores, que permita acelerar las modificaciones normativas necesarias para impulsar la construcción sustentable, y el establecimiento de incentivos para la integración de la construcción sustentable en nuevos proyectos.

Todas estas medidas que promueven construir con criterios de sustentabilidad en Chile, pueden generar los siguientes beneficios:

- Reducir gastos por concepto de uso de energía en la vivienda.
- Mejor calidad de vida para los habitantes.
- Reducción de la contaminación intradomiciliaria.
- Reducción de emisiones de CO₂.
- Posibilidad de utilizar y absorber las aguas lluvias urbanas.
- Disminución de la generación de residuos.

Todas estas políticas, iniciativas, planes, agendas, entre otras, apuntan hacia la mitigación (reducir las emisiones GEI y aumentar la capacidad de su almacenamiento) y adaptación (evitar o minimizar los impactos negativos del cambio climático y obtener beneficios de los impactos positivos) al cambio climático, conceptos que están siendo abordados recientemente en el país, pero que poco a poco van tomando cada vez mayor relevancia.

2.1.2 Reglamentación Térmica

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo ha incorporado en los últimos años dos modificaciones a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (denominadas 1° y 2° etapas de Reglamentación Térmica) mediante las cuales se han establecido progresivos requisitos de acondicionamiento térmico a las viviendas, determinando exigencias para los complejos de techumbre en una primera etapa, para luego continuar con los muros, pisos ventilados y superficie máxima para ventanas, según se señala en el Artículo N° 4.1.10 de dicho reglamento.

Es relevante resaltar que la segunda etapa, que entró en vigencia el día 4 de enero de 2007, ha sido determinada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo sobre la base de una propuesta que fue gestionada y dirigida por el Instituto de la Construcción, la que contó para su elaboración con la participación de todos los actores del sector relacionados al tema (profesionales, industriales, académicos y gremiales) que en una situación inédita y exitosa, aportaron una propuesta viable en términos técnicos, económicos y sociales.

En la Reglamentación Térmica se establecen requisitos de acondicionamiento térmico de las viviendas, determinando valores máximos de transmitancia térmica (o mínimos de resistencia térmica) para los complejos de techumbre, muros, pisos ventilados (ver Cuadro 10) y superficie máxima para ventanas con respecto a parámetros verticales de la envolvente (ver Cuadro 11). Se muestran a continuación algunas exigencias de la Reglamentación Térmica Nacional:

Cuadro 10: Exigencias para complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados.

| Zona | Techumbre | | Muros | | Pisos ventilados | |
|------|---------------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|--|
| | U [W/m ² K] | R _T [m ² K/W] | U [W/m ² K] | R _T [m ² K/W] | U [W/m ² K] | R _T [m ² K/W] |
| 1 | 0,84 | 1,19 | 4,00 | 0,25 | 3,60 | 0,28 |
| 2 | 0,60 | 1,67 | 3,00 | 0,33 | 0,87 | 1,15 |
| 3 | 0,47 | 2,13 | 1,90 | 0,53 | 0,70 | 1,43 |
| 4 | 0,38 | 2,63 | 1,70 | 0,59 | 0,60 | 1,67 |
| 5 | 0,33 | 3,03 | 1,60 | 0,63 | 0,50 | 2,00 |
| 6 | 0,28 | 3,57 | 1,10 | 0,91 | 0,39 | 2,56 |
| 7 | 0,25 | 4,00 | 0,60 | 1,67 | 0,32 | 3,13 |

Cuadro 11: Exigencias para ventanas en viviendas.

| Ventanas | | | |
|----------|---|--|------------------------------------|
| Zona | % Máximo de Superficie Vidriada Respecto a Parámetros Verticales de la Envolvente | | |
| | Vidrio | DVH Doble Vidriado Hermético (c) | |
| | Monolítico (b) | $3.6 \text{ W/m}^2\text{K} \geq U > 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (a) | $U \leq 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| 1 | 50% | 60% | 80% |
| 2 | 40% | 60% | 80% |
| 3 | 25% | 60% | 80% |
| 4 | 21% | 60% | 75% |
| 5 | 18% | 51% | 70% |
| 6 | 14% | 37% | 55% |
| 7 | 12% | 28% | 37% |

Para cumplir las exigencias descritas en el Cuadro 10 se podrá optar por las siguientes alternativas:

1. Mediante la incorporación de un material aislante etiquetado con el R100 correspondiente al Cuadro 12, en donde R100 es el valor equivalente a la resistencia térmica multiplicado por 100, según la norma NCh2251.Of94:

Cuadro 12: Resistencia térmica R100 mínima.

| Zona | Techumbre R100 [m ² K/W] | Muros R100 [m ² K/W] | Pisos ventilados R100 [m ² K/W] |
|------|-------------------------------------|---------------------------------|--|
| 1 | 94 | 23 | 23 |
| 2 | 141 | 23 | 98 |
| 3 | 188 | 40 | 126 |
| 4 | 235 | 46 | 150 |
| 5 | 282 | 50 | 183 |
| 6 | 329 | 78 | 239 |
| 7 | 376 | 154 | 295 |

2. Mediante un certificado de ensaye otorgado por un Laboratorio de Control Técnico de Calidad de la Construcción, demostrando el cumplimiento de la transmitancia o resistencia térmica total de la solución del complejo de techumbre, muro y piso ventilado.
3. Mediante cálculo según la norma NCh853-2007, demostrando el cumplimiento de la transmitancia o resistencia térmica del complejo, efectuado por un profesional competente.

4. Especificar una solución constructiva para los complejos que corresponda a alguna de las soluciones inscritas en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico, confeccionado por el MINVU.

Para obtener el porcentaje máximo de superficie vidriada del Cuadro 11, se debe primero determinar la superficie de los parámetros verticales de la envolvente, que corresponde a la suma de las superficies interiores de todos los muros perimetrales que considere la unidad habitacional, incluyendo los medianeros y muros divisorios, para luego determinar la superficie total de ventanas que corresponde a la suma de la superficie de los vanos del muro en el cual está colocada la ventana.

Cuando el proyecto contemple el uso de diferentes tipos de vidrio, es necesario obtener el máximo porcentaje por cada tipo de vidrio con respecto a la superficie total vertical. Entonces, para cada tipo de vidrio a utilizar se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$MSV = \frac{TP * MV}{100}$$

Donde:

TP: Porcentaje del tipo de vidrio con respecto al total de la superficie vidriada.

MV: Porcentaje máximo de superficie vidriada, ver valores en Cuadro 11.

MSV: Porcentaje máximo del tipo de vidrio respecto a la superficie total de la envolvente.

Existe un método llamado “método alternativo del U ponderado” relativo a la superficie vidriada de vidrios monolíticos, el cual permite aumentar la superficie vidriada del Cuadro 11, compensándolo con el mejoramiento de la transmitancia térmica de la solución de muros para las zonas térmicas 3, 4, 5, 6 y 7. El U ponderado se define como sigue:

$$U_{ponderado} = \frac{SM * UM + SV * UV}{STE}$$

Donde:

SM: Superficie de muros [m²].

UM: Transmitancia térmica de los muros [W/m²K].

SV: Superficie de ventanas [m²].

UV: Transmitancia térmica de ventanas [W/m²K].

STE: Superficie total de los parámetros verticales de la envolvente.

Dicho valor deberá ser igual o menor al señalado en el Cuadro 13:

Cuadro 13: Transmitancia térmica ponderada máxima por zona térmica.

| Zona | U ponderado [W/m ² K] |
|------|-------------------------------------|
| 3 | 2,88 |
| 4 | 2,56 |
| 5 | 2,36 |
| 6 | 1,76 |
| 7 | 1,22 |

Además la Reglamentación incluye mapas de zonificación térmica del país (ver Anexo A), en los cuales se distinguen rangos de valores para los grados-día para cada una de las 7 zonas térmicas definidas, tal como se observa en el Cuadro 14:

Cuadro 14: Grados-día zonificación térmica de la Reglamentación Térmica.

| Zona | Grado día |
|--------|-----------------|
| Zona 1 | ≤ 500 |
| Zona 2 | > 500 - ≤ 750 |
| Zona 3 | > 750 - ≤ 1000 |
| Zona 4 | > 1000 - ≤ 1250 |
| Zona 5 | > 1250 - ≤ 1500 |
| Zona 6 | > 1500 - ≤ 2000 |
| Zona 7 | > 2000 |

Cabe mencionar que la zonificación térmica o grados día de manera general aumenta de norte a sur, y de costa a cordillera. Por poner un ejemplo, desde la costa de Iquique hasta la de Coquimbo es zona térmica 1.

En otra sección de la Reglamentación aparece un manual de aplicación práctica para complejos de techumbre, muros perimetrales y pisos ventilados, en donde se presenta una explicación gráfica y detallada de cada aspecto de la Reglamentación, con el propósito de facilitar su comprensión, aplicación, supervisión y control, tanto para arquitectos, ingenieros y constructores, como para los directores de obras y demás funcionarios municipales relacionados.

Además en una última sección, aparecen soluciones constructivas genéricas comunes de techo, pisos, muros y ventanas, con el fin de que el usuario pueda entender rápidamente las características térmicas de diferentes sistemas constructivos con y sin aislante térmico para las diferentes zonas térmicas del país.

Actualmente se está modificando esta Reglamentación, a partir del estudio “Propuesta de actualización de la Reglamentación Térmica, artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones”, con la finalidad de otorgar confort higrotérmico y las condiciones que aseguren un estándar de calidad del aire al interior de las edificaciones.

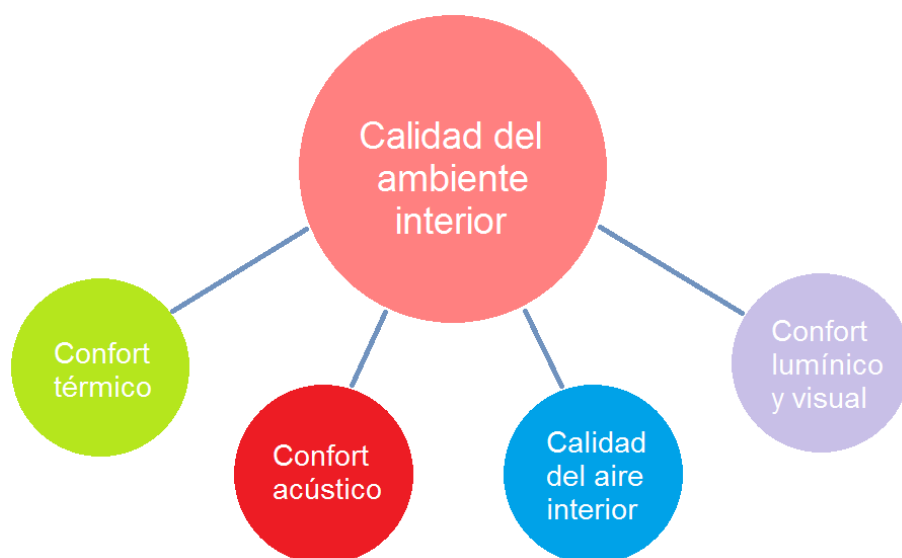
Dentro de las modificaciones en confort higrotérmico, se pueden destacar la consideración de transmitancias térmicas máximas de puertas y ventanas en las distintas zonas térmicas (incluye otra zonificación), la limitación en transmitancia de puentes térmicos para evitar condensación superficial y formación de moho en la envolvente, la disposición de resistencia térmica mínima en pisos sobre terreno, porcentaje máximo de superficie de ventanas por orientación y el cumplimiento de los factores solares modificados máximos por orientación (fracción de la radiación incidente en el complejo de ventana que no es bloqueada por el efecto de obstáculos de fachada y las partes opacas de éste).

Dentro de las modificaciones en la calidad del aire interior, se pueden destacar la incorporación de limitaciones a la infiltración de aire máxima para la envolvente de las edificaciones y restricciones generales a la ventilación y climatización.

2.1.3 Energía y confort al interior de la vivienda

La calidad del ambiente interior se refiere a la comodidad total y la mantención de un ambiente saludable para los ocupantes de la vivienda. Dentro de los problemas recurrentes de las viviendas con mala calidad del ambiente interior se pueden nombrar el aumento de problemas de salud, deterioro de muebles y equipos, estrés, problemas en el ambiente laboral como disminución de la productividad, mayor absentismo laboral, entre otros. Estos problemas pueden ser ocasionados principalmente en alguna de las siguientes subdivisiones de la calidad del ambiente interior de la Ilustración 4:

Ilustración 4: Calidad del ambiente interior.



El confort térmico se define como una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico (Norma ISO 7730). El confort térmico o higrotérmico al interior de la vivienda depende de la temperatura del aire, velocidad del aire, humedad relativa del ambiente, como también depende del individuo que requiere confort térmico a través de la actividad física desarrollada, cantidad de ropa y su metabolismo. Puede mejorarse al implementar mayor aislación térmica en muros, pisos y techos para reducir costos en calefacción y por lo tanto emitir menor cantidad de gases nocivos para el ser humano, evitando la condensación en muros, mejorando las pérdidas térmicas a través de puertas y ventanas, entre otras.

El confort acústico se refiere al nivel de ruido bajo el cual el sonido provocado por las actividades humanas, las infraestructuras o las industrias resulta beneficioso para el descanso, la comunicación y la salud de las personas. Estos sonidos molestos contribuyen a la contaminación acústica, la cual es ocasionada por transmisión de ruido a través de aberturas, ventanas abiertas, cajas de ascensores, puertas y ductos de ventilación, o por impacto de objetos que caen sobre un piso, golpeteo de puertas, ruido de pasos, entre otros. Puede mejorarse con exigencias de confort acústico para aulas de alumnos, salas de actividades, dormitorios, etc.

La calidad del aire es la naturaleza del aire dentro de la vivienda que puede afectar a la salud y bienestar de sus ocupantes. Es considerado aceptable cuando no existen contaminantes en concentraciones nocivas establecidas por las autoridades y cuando la mayoría de las personas expuestas (80% o más) no

presenta insatisfacción (ASHRAE 62.1, 2007). Puede mejorarse controlando fuentes contaminantes al interior y exterior de la vivienda, aislando espacios contaminantes, previniendo la humedad en muros, etc.

El confort lumínico y visual se logra cuando el ojo humano está en condiciones de realizar su actividad sin distracciones y sin ningún tipo de estrés. Se debe considerar una adecuada iluminación en los recintos, un adecuado esquema de color y limitar el deslumbramiento (exceso de iluminación). Existen diversas opciones para mejorarlo o prevenirlo, tales como diseñar espacios según niveles de iluminación necesaria por recinto, maximización de la iluminación natural, control individual de iluminación para los usuarios, equilibrar iluminación natural con artificial, evitar interiores oscuros, construcción de voladizos, etc.

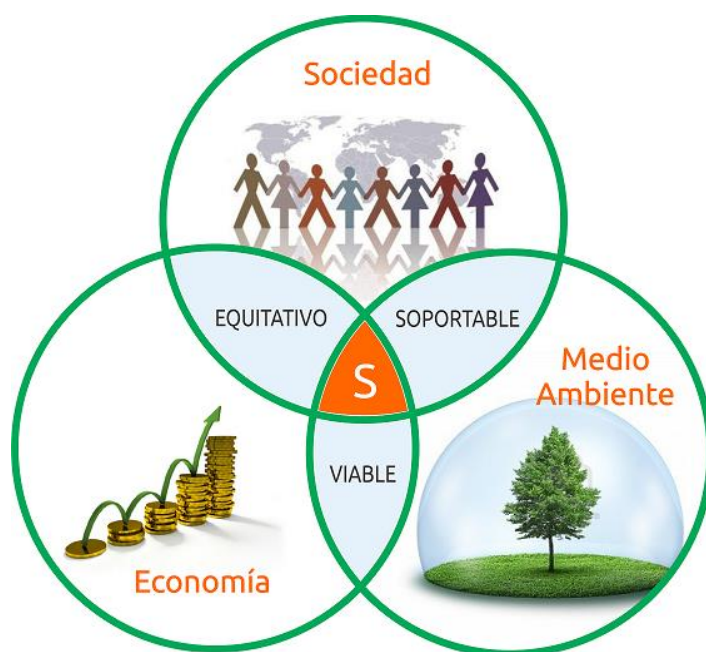
El estándar nacional vigente para la calidad del ambiente interior es la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, en donde aparecen restricciones dependiendo del uso que se le dé a la construcción: viviendas, hospitales, escuelas, hoteles, centros comerciales, entre otros. Mientras que el estándar internacional para la calidad del ambiente interior viene dado por la ASHRAE 55 o la ISO 7730.

2.2 Construcción sustentable a nivel internacional

2.2.1 Sustentabilidad integral

La sustentabilidad integral o también llamada desarrollo sustentable es un proceso integral, que puede ser definido como el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Se puede entender desde la perspectiva del *triple bottom line*, es decir, el equilibrio entre el desarrollo social, económico y ambiental (ver Ilustración 5).

Ilustración 5: Idealización del desarrollo sustentable.



Este concepto es relativamente nuevo. En los primeros años de existencia de las Naciones Unidas, el tema medio ambiental no era de preocupación para la comunidad internacional. Simplemente, se concentraba la atención en el estudio y utilización de los recursos naturales y en tratar de asegurar que los países en desarrollo, en particular, controlaran sus propios recursos. En los años 70, se realizaron acuerdos sobre los derrames de petróleo en el mundo, lo cual dio pie para pensar en las consecuencias que podría tener el desarrollo para la ecología del planeta y el bienestar de la humanidad. Luego en el año 1972, en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano de Estocolmo, se incorporó la relación entre el desarrollo económico y la degradación del medio ambiente. Desde ese entonces fue creado el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cuyo objetivo es ser la autoridad ambiental líder en el mundo, que fije la agenda ambiental global, que promueve la aplicación coherente de las dimensiones ambientales del desarrollo sostenible y que ejerce de defensor acreditado del medio ambiente global.

Gracias a las conferencias de la ONU sobre temas ambientales y al trabajo del PNUMA, se han estudiado temas de gran influencia, tales como:

- La desertificación.
- El desarrollo sostenible y los bosques.
- La protección de la capa de ozono.

- El cambio climático y el calentamiento de la atmósfera.
- Agua, energía y recursos naturales.
- La biodiversidad y la pesca excesiva.
- El desarrollo sostenible de los pequeños Estados Insulares (islas).
- El medio marino.
- La seguridad nuclear y el medio ambiente.
- Estados Insulares en Desarrollo.
- Poblaciones de peces altamente migratorias y trans-zonales.

Uno de los conceptos más reconocidos del PNUMA, creado en 1989, es el de producción más limpia (P+L) que describe una serie de acciones tendientes a la prevención de la contaminación industrial, que consiste en la aplicación continua de una estrategia de prevención ambiental a los procesos y a los productos con el fin de reducir riesgos tanto para los seres humanos como para el medio ambiente. Esto implicó un cambio profundo en el modo de pensar de las empresas, además de un cambio en el enfoque sistemático de control de la producción de los productos y servicios, al entenderlo desde la perspectiva del ciclo de vida completo de los mismos (incluyendo etapas de extracción de materias primas, producción, distribución, uso y desecho).

La P+L tiene una serie de beneficios que afectan no sólo a la productividad y rentabilidad de una empresa, sino que también al medio ambiente. Debido al mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y una mayor eficiencia en los procesos, se beneficia la productividad y rentabilidad. Este aprovechamiento de recursos genera una reducción de los desechos, lo cual si se acompaña con una correcta disposición final de ellos (reciclaje, reutilización o recuperación), se reducen los costos asociados. La imagen de la empresa también se ve beneficiada, al generar productos sin molestias hacia la comunidad y el medio ambiente. Se pueden nombrar también las mejoras en el ambiente laboral y el hecho de adelantarse a una reglamentación ambiental más rigurosa a futuro.

Anteriormente se mencionó un concepto que no fue descrito y que requiere mayor estudio, que es el análisis de ciclo de vida (o ACV, en inglés LCA), el cual es una herramienta metodológica que cuantifica y evalúa impactos ambientales de un producto o servicio durante su etapa o ciclo de vida, es decir, es una técnica del tipo “*cradle to grave*” (de la cuna a la tumba), cuyas etapas de vida son la extracción de materias primas, producción o manufactura, distribución, uso y disposición final o desecho.

La cuantificación de impactos mediante el ACV se puede analizar por medio de distintas categorías de impacto, como lo son:

- **Calentamiento global:** Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas. Unidad de referencia: $\text{kg}_{\text{eq}} \text{CO}_2$. Factor de caracterización: Potencial de calentamiento global (PCG).
- **Consumo de recursos energéticos:** Energía consumida en la obtención de las materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento analizado. Unidad de referencia: MJ. Factor de caracterización: Cantidad consumida.
- **Reducción de la capa de ozono:** Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioleta solares de la capa de ozono atmosférica. Unidad de referencia: $\text{kg}_{\text{eq}} \text{CFC-11}$. Factor de caracterización: Potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO).
- **Eutrofización:** Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de los ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes, que provoca un alto consumo del oxígeno del agua. Unidad de referencia: $\text{kg}_{\text{eq}} \text{NO}_3^-$. Factor de caracterización: Potencial de eutrofización (PE).
- **Acidificación:** Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados de la naturaleza. Unidad de referencia: $\text{kg}_{\text{eq}} \text{SO}_2$. Factor de caracterización: Potencial de acidificación (PA).
- **Consumo de materias primas:** Consumo de materiales extraídos de la naturaleza. Unidad de referencia: Tm. Factor de caracterización: Cantidad consumida.
- **Formación de oxidantes fotoquímicos:** Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono es el más importante por su abundancia y toxicidad). Unidad de referencia: $\text{kg}_{\text{eq}} \text{C}_2\text{H}_4$. Factor de caracterización: Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF).

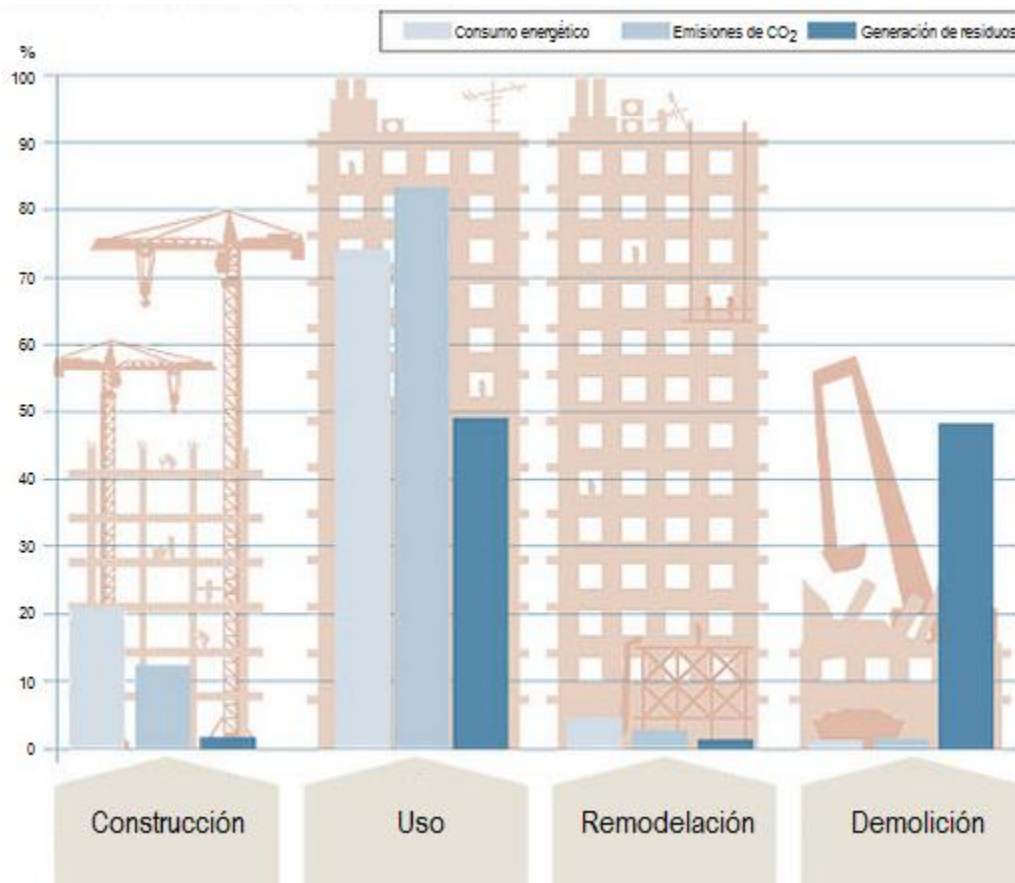
En una edificación o vivienda, el ciclo de vida posee las siguientes etapas, como se aprecia en la Ilustración 6:

Ilustración 6: Ciclo de vida de una edificación o vivienda.



La mayor cantidad de impactos ambientales durante la vida de una vivienda o edificación ocurre durante la etapa de uso, tal como se muestra en el Cuadro 15:

Cuadro 15: Impactos ambientales y consumo energético de un edificio en cuatro fases.



Fuente: <http://www.elmundo.es/elmundo/2011/04/26/baleares/1303801498.html>

El ACV de un edificio o vivienda permite conocer con facilidad las consecuencias ambientales propias de su construcción. Es sabido que la fabricación de materiales de construcción hace uso de recursos no renovables, ya sea por el uso deliberado de materias primas, por el consumo de combustibles fósiles u otros. Pero el problema no termina ahí, más aún recién comienza. Nuestro entorno natural se ve afectado por la emisión de contaminantes, así como por la degradación de residuos de todo tipo durante todas las etapas del ciclo de vida.

La reducción del impacto ambiental de este sector se centra en 3 aspectos ya mencionados:

- El control del consumo de recursos.
- La reducción de las emisiones contaminantes.
- La minimización y la correcta gestión de los residuos que se generan a lo largo del proceso constructivo.

Para lograr estos objetivos, se requiere el trabajo mancomunado de todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de la vivienda, desde la extracción de materias primas hasta su demolición, para poder aplicar estrategias para la prevención y minimización de los impactos ambientales. Por otro lado, en algunas ocasiones los residuos pueden ser aprovechados como materia prima mediante reciclaje o reutilización, lo cual ayuda a la eficiencia del proceso constructivo.

Una forma de reducir el impacto ambiental en el consumo de recursos es mediante la utilización de recursos renovables, es decir, que no se agota, como por ejemplo la energía solar, eólica, geotérmica, entre muchas otras. Sin embargo, esto no debe afectar al equilibrio ecológico que sostiene un determinado recurso natural, y que es responsable de su existencia. Tal es el caso de la madera, en donde es necesario compatibilizar las explotaciones forestales con la regeneración de las mismas mediante replantaciones que produzcan nueva materia prima a un ritmo adecuado, de lo contrario se estaría agotando un recurso renovable por definición.

Una forma de construir de forma sustentable, que sea reconocido por la sociedad y beneficie a la economía, es a través de las certificaciones nacionales como internacionales. Generalmente se trata de una serie de normas voluntarias sobre la utilización de estrategias encaminadas a la sustentabilidad en edificios de todo tipo, incorporando aspectos relacionados con la eficiencia energética, uso de energías renovables, mejoramiento de la calidad ambiental interior, eficiencia en el

consumo de agua, entre otros. Al conseguir ser certificado mediante alguna entidad, se identifica al edificio o vivienda su calidad ambiental mediante una etiqueta.

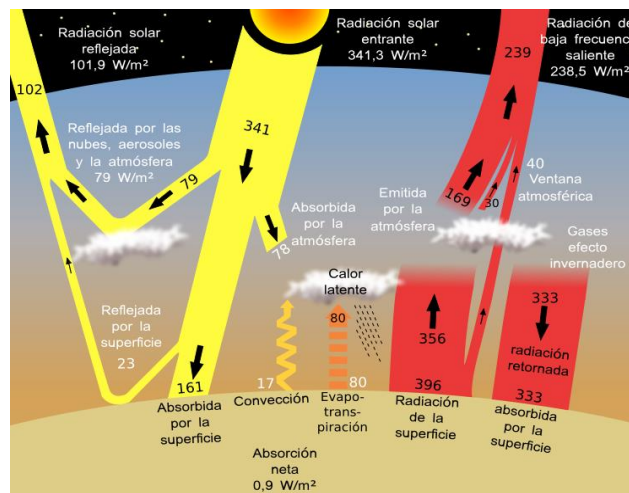
Existen diversas certificaciones ambientales de edificios. Algunas tienen difusión internacional como la estadounidense LEED, la inglesa BREEAM o la alemana DGNB; otras están pensadas para ser aplicadas dentro de un territorio en específico, como el caso mencionado en el punto anterior de Chile y su Código de Certificación Sustentable para edificios, las españolas VERDE y ECOMETRO, las italianas ITACA y CASA CLIMA, la japonesa CASBEE, etc. Actualmente se están difundiendo cada día más, a pesar de que su aplicación sea voluntaria, en respuesta a la toma de conciencia de que nuestro planeta tiene recursos limitados y al cambio climático, que es explicado a continuación.

2.2.2 Cambio climático

Se le llama cambio climático a la modificación de los patrones de clima a escala global o regional en períodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. Dichos cambios pueden ser causados por la acción del hombre (o acción antropogénica) o debido a causas naturales.

El concepto de cambio climático es confundido generalmente con calentamiento global, ya que están íntimamente relacionados. Sin embargo, el calentamiento global se refiere al aumento de la temperatura media del sistema climático de la Tierra en los últimos 65 años aproximadamente, debido principalmente a la acción de los gases de efecto invernadero.

Ilustración 7: Balance anual de energía de la Tierra.

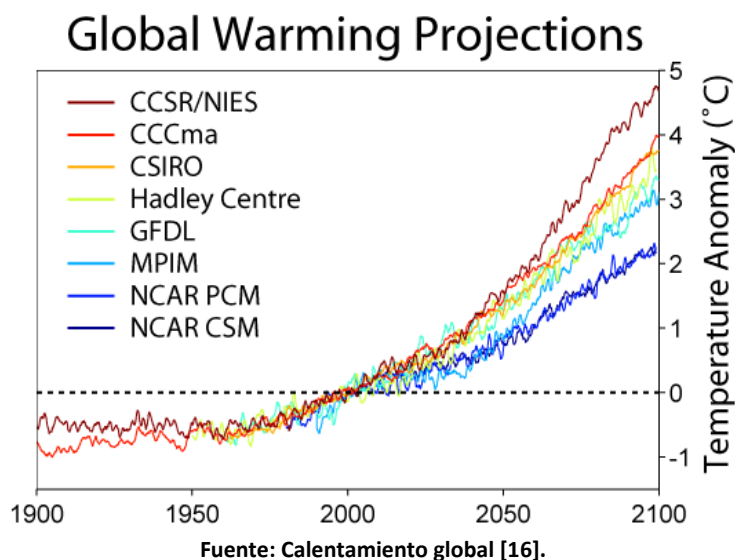


Fuente: Trenberth, Fasullo and Kiehl (2009): *Earth's global energy budget*. In: *Bulletin of the American Meteorological Society*.

En la Ilustración 7 se puede apreciar las consecuencias de los gases de efecto invernadero mediante un balance energético de la Tierra, basado en datos del período 2000-2004. La superficie de la Tierra recibe del Sol 161 W/m^2 y del efecto invernadero de la atmósfera 333 W/m^2 , en total 494 W/m^2 ; como la superficie de la Tierra emite un total de 493 W/m^2 ($17+80+396 \text{ W/m}^2$), supone una absorción neta de calor de $0,9 \text{ w/m}^2$, que en el tiempo actual está provocando el calentamiento de la Tierra.

El cambio climático implica variabilidad en los patrones de lluvias, nubosidad, inundaciones, océanos, vientos, humedad, entre otros. Estos efectos han sido estudiados por distintas entidades, las cuales serán analizadas más adelante. Nuestro modo de producción y consumo energético está generando una alteración climática global, que provocará serios impactos sobre la Tierra como sobre los sistemas socioeconómicos. La quema de combustibles fósiles tales como el petróleo, el carbón y el gas natural han causado un aumento del CO_2 en la atmósfera que últimamente es de $1,4 \text{ ppm/año}$ y produce el consiguiente aumento de la temperatura global. Según estudios del IPCC, se estima que la temperatura media de la Tierra aumentará $1 \text{ }^\circ\text{C}$ al año 2020 y $2 \text{ }^\circ\text{C}$ al 2050 con respecto a la época industrial [15].

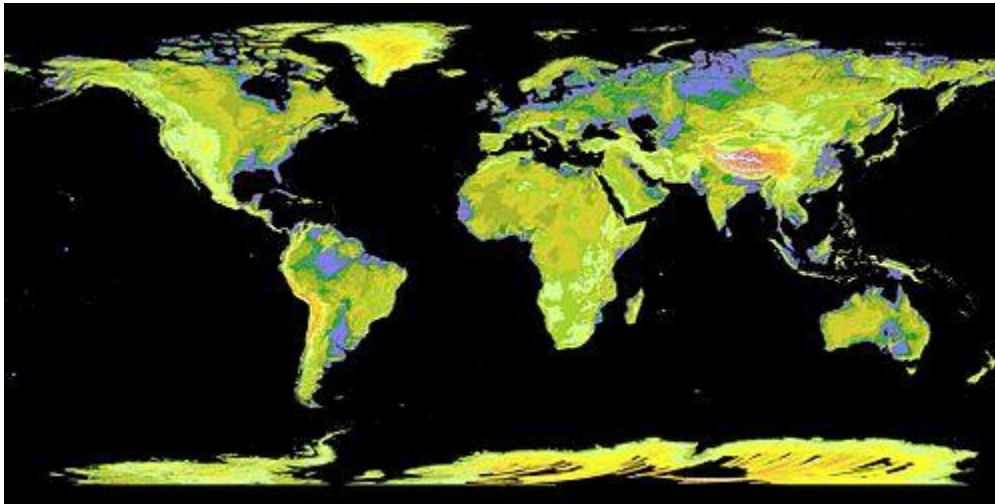
Ilustración 8: Proyección del calentamiento global.



En la Ilustración 8 aparecen los resultados de los cálculos del calentamiento global preparados por el IPCC en su cuarto informe tomando como base el año 2001 a partir de una gama de modelos climáticos en el escenario de emisiones “SRES A2”, el cual asume que no se toman medidas para reducir las emisiones en un desarrollo económico regionalmente dividido.

Como se mencionó anteriormente, los océanos se ven afectados por el cambio climático y por el calentamiento global. Cumplen la función de absorber parte del CO₂ atmosférico, labor que se ve dificultada por el aumento de su temperatura, que ocasiona la acidificación del mismo. Otro problema latente ya anunciado por el IPCC es el ascenso del nivel del mar estimado en 4 mm/año producto de los deshielos de los glaciares. Estudios del IPCC (cuarto informe) predicen que antes del 2050 el volumen de los glaciares disminuirá en un 60%, mientras que el estimado total del deshielo glacial sobre Groenlandia es $-239 \pm 23 \text{ km}^3/\text{año}$. Esto puede ocasionar a futuro que ciertas zonas geográficas estén por debajo del nivel del mar, tal como se muestra en la Ilustración 9, donde el color celeste muestra las zonas vulnerables a la subida del nivel del mar.

Ilustración 9: Efecto de subida del nivel del mar producto del calentamiento global y cambio climático.



Fuente: http://www.nasa.gov/images/content/412091main_PIA12090_full.jpg.

Las consecuencias del cambio climático provocado por las emisiones de GEI, se han estudiado en los distintos informes confeccionados por el IPCC y diversas otras entidades atinentes al caso. Algunas de estas consecuencias son nombradas a continuación (Cuarto informe de evaluación “Cambio Climático”, 2007):

- a) En los próximos veinte años las proyecciones señalan un aumento en la temperatura media global de 0,2 °C por decenio.
- b) Las proyecciones muestran la contracción de la superficie de hielos y de nieve. En algunas proyecciones, los hielos de la región ártica prácticamente desaparecerán a finales del presente siglo. Esta contracción del manto de hielo producirá un aumento del nivel del mar de hasta 4–6 m.

- c) Habrá impactos en los ecosistemas de tundra, bosques boreales y regiones montañosas por su sensibilidad al incremento de temperatura; en los ecosistemas de tipo Mediterráneo por la disminución de lluvias; en aquellos bosques pluviales tropicales donde se reduzca la precipitación; en los ecosistemas costeros como manglares y marismas por diversos factores.
- d) Disminuirán los recursos hídricos de regiones secas de latitudes medias y en los trópicos secos debido a las menores precipitaciones de lluvia y la disminución de la evapotranspiración, y también en áreas surtidas por la nieve y el deshielo.
- e) Se verá afectada la agricultura en latitudes medias, debido a la disminución de agua.
- f) Las emisiones de carbono antropogénicas desde 1750 están acidificando el océano, cuyo pH ha disminuido en 0,1. Las proyecciones estiman una reducción del pH del océano entre 0,14 y 0,35 en este siglo. Esta acidificación progresiva de los océanos tendrá efectos negativos sobre los organismos marinos.

El punto de partida de las negociaciones internacionales acerca del cambio climático se sitúa en las conclusiones de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo del año 1972. Debido a las alertas procedentes del mundo científico, esta Conferencia recomendó realizar las actividades necesarias para comprender este fenómeno a la Organización Mundial de Meteorología (OMM) junto con el Consejo Internacional de la Ciencia (CIC). Como resultado de esto, ese mismo año se crea el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), que jugará un rol importante frente al cambio climático. En 1988 ya se sabía que los GEI's tenían influencia en el clima, y que a mediados del siglo XXI habrá un aumento importante en la temperatura media global, mayor que cualquier otro registrado anteriormente. Es por esto que la OMM y el PNUMA decidieron crear el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, más conocido por sus siglas en inglés IPCC, panel encargado de proveer información sobre la base científica, técnica y socioeconómica actual sobre el riesgo de cambio climático provocado por la actividad humana, sus potenciales consecuencias medioambientales y socioeconómicas, y las posibles opciones para adaptarse a esas consecuencias o mitigar sus efectos.

El IPCC ha redactado 5 informes relacionados al cambio climático, en los cuales se analizan asuntos relevantes a la implementación de la Convención

Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), tratado internacional que reconoce la posibilidad de cambio climático dañino, que entró en vigor en el año 1994. Esta convención ha elaborado estrategias a nivel internacional para enfrentarse a los desafíos del cambio climático a través de sus reuniones anuales (llamadas Conferencia de las Partes o CoP), las cuales se pueden resumir en 3 ejes estratégicos: mitigación (reducción de emisiones GEI y aumento de capacidad de su almacenamiento), adaptación (evitar o minimizar los impactos negativos del cambio climático y obtener beneficios de los impactos positivos) y capacitación (para poder identificar e implementar medidas apropiadas de mitigación y adaptación).

El primer informe de evaluación del IPCC se publicó en 1990, en el cual se confirmó los elementos científicos que provocaban preocupación acerca del cambio climático. Es aquí donde nace la idea de la creación de la CMNUCC, propuesta en conjunto con la Asamblea General de las Naciones Unidas. En 1992 se presentó un informe complementario en donde se logró aprobar la Convención Marco sobre el Cambio Climático para tratar de estabilizar las emisiones de GEI's a un nivel aceptable.

El segundo informe de evaluación, llamado "Cambio Climático 1995", fue material base para las negociaciones del Protocolo de Kioto, que fue finalmente redactado en el año 1997 (y puesto en marcha el año 2004, luego de ser ratificado por Rusia), con el objetivo de reducir las emisiones de 6 tipos de gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), además de los siguientes gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), en un 5,2% de manera global dentro del período 2008-2012, respecto a los valores del año 1990. Consta de 3 informes de grupos de trabajo y de una síntesis de información científica y técnica útil para la interpretación del artículo 2° de la CMNUCC.

El tercer informe de evaluación del año 2001, consta también de 3 informes de grupos de trabajo sobre "La base científica", "Efectos, adaptación y vulnerabilidad" y "Mitigación", así como un informe de síntesis en el que se abordan diversas cuestiones y técnicas útiles para el diseño de políticas.

En los informes cuarto (2007) y quinto (2014) de evaluación del IPCC se sigue aumentando la certidumbre de los impactos que la actividad humana provoca en el calentamiento global, pasando desde un grado de confianza de este hecho del 90% en 2007 a uno del 95% en 2014. Las principales consecuencias y resultados encontrados en el cuarto y quinto informe del IPCC ya han sido mencionadas

anteriormente, lo cual da a conocer la realidad del problema del cambio climático mediante cifras en diversos estudios científicos.

El primer período de vigencia del Protocolo de Kioto expiró en el año 2012, por lo que las negociaciones por su revalidación no tardaron en aparecer. La decimoctava Conferencia de las Partes (CoP 18) sobre cambio climático ratificó el segundo período de vigencia del Protocolo de Kioto desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020. Sin embargo, en esta ocasión tuvo algo menos de respaldo, ya que países industrializados como Estados Unidos, Rusia, Japón, Canadá, entre otros, decidieron no apoyar la prórroga.

Lo principal de la decisión adoptada por la CoP 18 es la renovación del Protocolo de Kioto, específicamente se presenta una nueva tabla con los montos asignados de emisión para los países del Anexo 1, con excepción de los países mencionados anteriormente que han declarado que no participarán del segundo período de compromiso. Los países podrán, si lo desean, ampliar su promesa de reducción de emisiones, pero no disminuirla. Esta actualización también establece que los países firmantes se comprometen a reducir en conjunto un mínimo de 18% sus emisiones (comparadas con las de 1990) durante el segundo período de compromiso que queda definido entre 2013 y 2020. Además, se agrega un nuevo gas a la lista de los ya conocidos 6 GEI's: el trifluoruro de nitrógeno (NF_3), que será lógicamente contabilizado a partir de este segundo período de vigencia del Protocolo de Kioto.

La Organización Internacional de Estandarización (ISO) es un organismo integrado por cuerpos de estandarización nacionales de 165 países (a diciembre de 2014) [19], establecido en el año 1947. Su función principal es la de estandarizar a través de normas de uso voluntario, productos y servicios para empresas u organizaciones, tanto públicas como privadas a nivel internacional.

Dentro de la serie de normas ISO 14000 de gestión ambiental, existe la norma específica ISO 14067, publicada en el año 2013, en la cual se establece un marco de referencia internacional para el cálculo de la huella de carbono (o emisiones de gases de efecto invernadero) de producto. Basada en la norma inglesa PAS 2050, en la norma ISO 14067 se establece la metodología para el cálculo de los GEI's emitidos durante todo el ciclo de vida de un producto o servicio, desde la extracción de las materias primas, pasando por manufactura, construcción o fabricación, uso, hasta la etapa de disposición final, lo cual permite saber en qué fase se producen mayores emisiones de gases de efecto invernadero.

Diversos países han hecho grandes intentos por establecer políticas o acuerdos a largo y mediano plazo para abordar el problema del cambio climático, teniendo en cuenta su mitigación y adaptación. Se puede nombrar el caso de Australia y su “*Green Paper Carbon Pollution Reduction Scheme: Australia’s Low Pollution Future*”, en el cual dicho gobierno estableció un objetivo a largo plazo para reducir sus emisiones GEI en un 60% (con respecto a las emitidas en el año 2000) al año 2050 y una reducción a mediano plazo de 5% al 2020 [17]. En Suiza, se tiene el objetivo a largo plazo de la reducción del consumo final de energía en viviendas residenciales en un factor 3 (consumo final de energía en el sector residencial al año 2000 de 231 PJ/año) y de emisiones de CO₂ en un factor de 5 (emisiones de CO₂ en el rector residencial al año 2000 de 12,5 Mt CO₂/año) hasta el año 2050 [18]. Sin embargo, existe un problema en común para ellos: es muy difícil evaluar y comparar en la práctica los impactos de los GEI en viviendas, lo que indica que incluso en los países en donde se ha avanzado más en materia del cambio climático, falta desarrollar el tema.

En la Ilustración 10 aparece un ciclo de vida típico de un producto o vivienda en donde se indican donde se producen emisiones de gases de efecto invernadero en cada etapa, es decir, emisiones por consumo de combustibles, consumo eléctrico, transporte, reciclaje y por residuos.

Ilustración 10: Esquema básico para la cuantificación de GEI's.



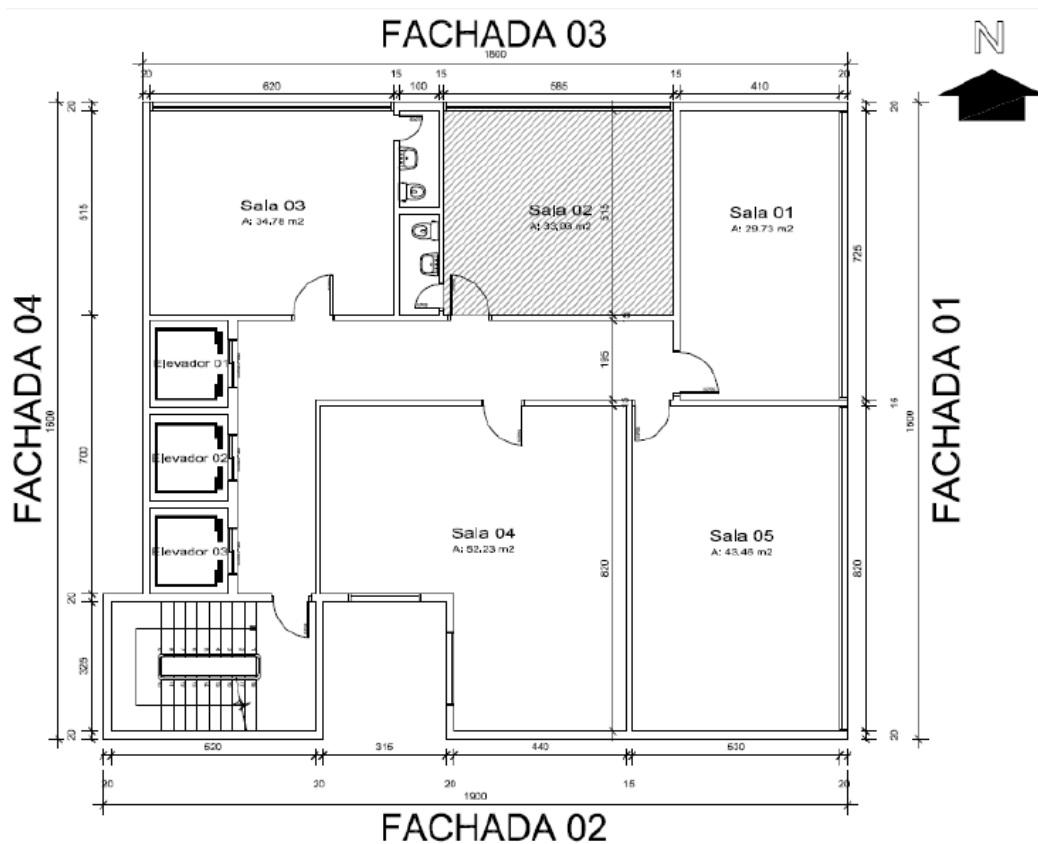
Fuente: Greensolutions, huella de carbono.

Estas emisiones son producidas por una fuente mediante el uso de electricidad, combustibles, calefacción, transporte, etc. La relación entre la cantidad de GEI emitido a la atmósfera y la unidad de la fuente correspondiente es lo que se llama factor de emisión, es decir, es el valor que permite cuantificar la emisión de GEI por cada unidad de energía (por ejemplo por cada kWh), o unidad de transporte (por ejemplo por cada kilómetro), o unidad de combustible (por ejemplo por cada litro), entre otros, utilizada en una determinada etapa del ciclo de vida.

2.3 Revisión bibliográfica de otras modelaciones a través de software

Se analiza primero el estudio “*The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa María RS*”. En esta ocasión, se modela un típico edificio comercial de la ciudad de Santa María, Brasil que consta de 15 pisos, con una superficie de 16 x 18 m² en cada uno de ellos, con una altura al cielo de 3 m. En la Ilustración 11 aparece la sala del piso analizado: sala 02 del piso intermedio del edificio de superficie 5,15 x 5,85 m² con una fachada expuesta al Norte, en un comienzo.

Ilustración 11: Planta de piso tipo de edificio de Santa María.



Fuente: “*The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa María RS*”.

Los materiales utilizados en el edificio y sus características que fueron ingresados al programa *DesignBuilder*, aparecen en Cuadro 16 y Cuadro 17:

Cuadro 16: Características de materiales usados en las paredes del edificio.

| Elements | Roughness | Thickness (m) | Conductivity (W/m.K) | Specific Heat (J/kg.K) |
|-------------------------|-----------|---------------|----------------------|------------------------|
| OUTER WALL | | | | |
| Plastering mortar | Rough | 0,025 | 1,15 | 1000 |
| Tijolo cerâmico 6 furos | Rough | 0,15 | 0,9 | 920 |
| INSIDE WALL | | | | |
| Mortar render | Rough | 0,025 | 1,15 | 1000 |
| Ceramic brick 6 holes | Rough | 0,15 | 0,9 | 920 |

Fuente: "The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa Maria RS".

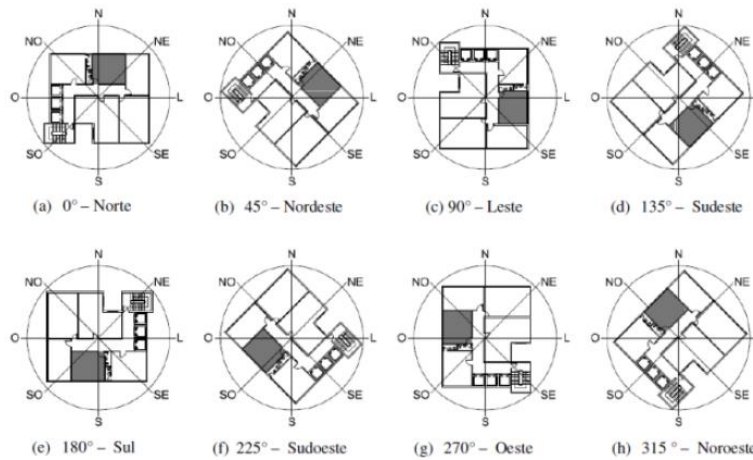
Cuadro 17: Continuación de cuadro 17.

| Elements | Density (kg/m³) | Absorptance Thermal | Solar Absorption |
|----------------------------|-----------------|---------------------|------------------|
| SLAB BETWEEN FLOORS | | | |
| Slab | Rough | 0,1 | 1,05 |
| Plastering mortar | Rough | 0,025 | 1,15 |
| Ceramic floor | Rough | 0,01 | 0,9 |
| SLAB COVER | | | |
| Slab | Rough | 0,1 | 1,05 |
| Mortar render | Rough | 0,025 | 1,15 |
| Cement fiber tiles | Rough | 0,05 | 0,95 |
| OUTER WALL | | | |
| Mortar render | 2000 | 0,9 | 0,2 |
| Ceramic brick 6 holes | 840 | 0,9 | 0,7 |
| INSIDE WALL | | | |
| Mortar render | 2000 | 0,9 | 0,2 |
| Ceramic brick 6 holes | 840 | 0,9 | 0,7 |
| SLAB BETWEEN FLOORS | | | |
| Slab | 1087 | 0,9 | 0,7 |
| Mortar render | 2000 | 0,9 | 0,2 |
| Ceramic floor | 1600 | 0,9 | 0,7 |
| SLAB COVER | | | |
| Slab | 1087 | 0,9 | 0,7 |
| Mortar render | 2000 | 0,9 | 0,2 |
| Cement fiber tiles | 1900 | 0,9 | 0,7 |

Fuente: "The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa Maria RS".

La Ilustración 12 muestra las distintas orientaciones modeladas en el programa.

Ilustración 12: Orientaciones modeladas en *DesignBuilder* de edificio de Santa María.



Fuente: “The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa María RS”.

La cantidad de personas (u ocupación) del edificio depende del día. De lunes a viernes: de 09:00 - 12:00 y de 14:00 - 18:00 con ocupación más intensa, mientras que el sábado sólo de 09:00 - 12:00 con ocupación intensa. El día domingo se considera sin ocupación. En cuanto a la iluminación, se utiliza el típico horario de oficina de 08:00 – 18:00, con mayor intensidad de 09:00 – 12:00 y de 14:00 – 18:00. Se utiliza aire acondicionado tipo *split* en cada oficina, con un CoP para refrigeración y calefacción de 3,2, con horario de uso de 08:00 – 18:00, para mantener una temperatura de confort de 24 °C. En el Cuadro 18 aparecen los datos ingresados para la localización del edificio:

Cuadro 18: Datos para la localización geográfica de Santa María.

| Latitute | Longitute | Time Zone | Altitude |
|----------|-----------|-----------|----------|
| -29.70 | -53.70 | -3 (GMT) | 114 m |

Fuente: “The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa María RS”.

Las características de las superficies vidriadas del edificio aparecen en el Cuadro 19:

Cuadro 19: Características de ventanas del edificio Santa María.

| FEATURE | GLASS COLORLESS 5mm |
|---|------------------------|
| Solar factor | 0,85 |
| Thickness | 5 mm |
| Normal incidence to the solar transmittance | 0,81 |
| Solar reflectance at normal incidence: interior | 0,10 |
| Solar reflectance at normal incidence: exterior | 0,10 |
| Normal incidence to visible transmittance | 0,86 |
| Reflectance visible at normal incidence: interior | 0,10 |
| Reflectance visible at normal incidence: exterior | 0,10 |
| Infrared transmittance of the normal incidence | 0,75 |
| Hemispherical emissivity infrared: Internal | 0,84 |
| Hemispherical emissivity infrared: External | 0,84 |
| Conductivity (W/m.K) | 1,00 |

Fuente: *"The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa María RS"*.

El porcentaje de superficie vidriada del edificio (PAF) y las características de las ventanas utilizadas se muestran en el Cuadro 20:

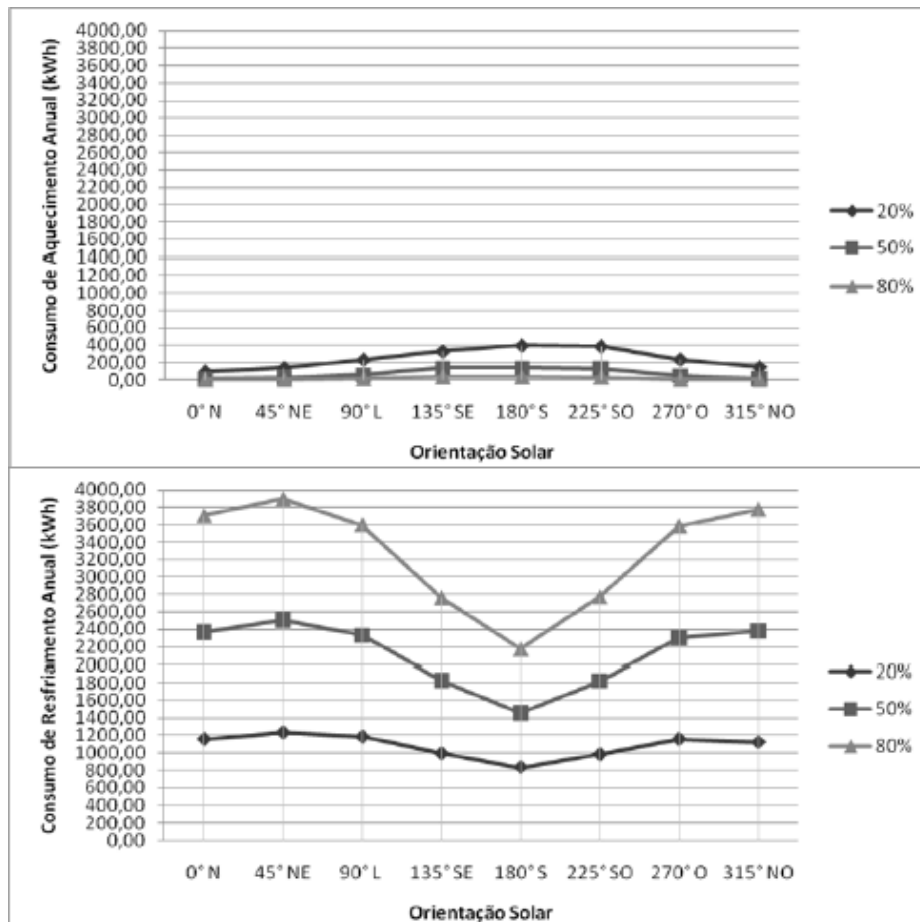
Cuadro 20: Dimensiones de las ventanas de la sala 02.

| PAF (%) | Width (m) | Height(m) | Area (m ²) |
|---------|-----------|-----------|------------------------|
| 20 | 4,00 | 1,00 | 4,00 |
| 50 | 5,95 | 1,70 | 10,12 |
| 80 | 5,93 | 2,70 | 16,01 |

Fuente: *"The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa María RS"*.

Los resultados del estudio se resumen en el Cuadro 21, donde aparece el consumo de energía de calefacción y refrigeración anual en relación a la orientación del edificio, para distintas cantidades de superficie vidriada:

Cuadro 21: Consumo de energía de calefacción y refrigeración anual en relación a la orientación del edificio Santa María.



Fuente: "The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa María RS".

Lo que interesa hacer notar del cuadro anterior es el consumo de energía para calefacción. Como se puede observar, el consumo de energía disminuye con el aumento en el porcentaje de superficie vidriada. Cuando la fachada de la sala 02 se encuentra en las orientaciones Sudeste, Sur y Sudoeste, el consumo energético aumenta con respecto a las orientaciones Norte. La simulación muestra una gran influencia de la radiación solar en las ganancias térmicas del edificio, cuya intensidad está directamente relacionada con el porcentaje de superficie vidriada de la fachada. A modo de ejemplo, considerando un 20% de superficie vidriada de la fachada, se obtiene una demanda energética de calefacción (orientación Sur) 4 veces lo consumido en la orientación Norte.

Lo siguiente es observar la memoria de título "Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120". El edificio posee 3 subterráneos y 7

pisos. Está construido principalmente en concreto donde alrededor de la mitad de los muros corresponde a ventanas. Posee una superficie por planta de 21,3 x 52,3 m².

El edificio posee 2 tipos de usuario: alumnos y empleados de oficinas. El horario de ocupación de personas para oficinas es de 08:30 a 17:30 (en el nivel 3 y superiores), y para pisos 1 y 2 de 08:00 a 20:00. Se considera 90% de ocupación para alumnos y 80% para empleados de oficina. Los mismos horarios son utilizados para el uso de iluminación y equipos eléctricos.

Los muros exteriores están hechos de concreto con revestimiento interior (estuco) y exterior (mortero), cuyas características se muestran en el Cuadro 22. La transmitancia térmica resultante es de 2,17 W/m²K:

Cuadro 22: Propiedades generales de muros de edificio CEC.

| Material | Espesor [m] | Conductividad [W/mK] |
|------------------------|-------------|----------------------|
| Revestimiento Interior | 0.01 | 0.61 |
| Concreto | 0.18 | 0.711 |
| Revestimiento Exterior | 0.01 | 0.473 |

Fuente: “Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120”.

Las propiedades de las ventanas utilizadas se encuentran en el Cuadro 23:

Cuadro 23: Propiedades de ventanas en edificio CEC.

| Material | Espesor [m] | Conductividad [W/mK] |
|-----------------|-------------|----------------------|
| Vidrio Interior | 0.006 | 1.046 |
| Gap Aire | 0.012 | 5.56 |
| Vidrio Exterior | 0.006 | 1.046 |

Fuente: “Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120”.

Según la configuración anterior, las ventanas tienen una transmitancia térmica de 3,22 W/m²K. Sin embargo, esto no considera el marco de la ventana ni la convección existente entre los vidrios, por lo que se adopta un valor de 3,6 W/m²K, sacado del programa RETscreen.

Las propiedades de las losas se muestran en el Cuadro 24:

Cuadro 24: Propiedades de losas en edificio CEC.

| Material | Espesor [M] | Conductividad [W/mK] |
|----------------|-------------|----------------------|
| Cerámico | 0.015 | 0.309 |
| Pasta Adhesiva | 0.005 | 0.7 |
| Concreto | 0.2 | 0.753 |

Fuente: "Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120".

Según la configuración anterior, la transmitancia térmica resultante es de 1,6 W/m²K.

La potencia instalada de computadores y equipos se divide en todo el piso del edificio. En el Cuadro 25 aparece la potencia instalada de computadores y otros equipos considerados:

Cuadro 25: Potencia instalada de computadores y otros equipos del edificio CEC.

| Item | Potencia Intalada [kW] |
|---------------|------------------------|
| Computadores | 0.45 |
| Otros Equipos | 1.5 |

Fuente: "Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120".

El edificio posee un sistema de ventilación activo, aunque se desconoce la potencia total instalada en estos sistemas. Poseen sistemas de extracción e inyección de aire en todos los pisos. Sólo se conoce información de los sistemas de inyección de aire del zócalo del edificio (existen 4 en este piso). Los valores de ventilación de estos equipos se muestran a continuación en el Cuadro 26:

Cuadro 26: Datos de ventilación de inyección de aire, zócalo CEC.

| Equipo | Ventilador de Inyección |
|----------|--------------------------|
| Caudal | 3100 [m ³ /h] |
| Presión | 20 [mmca] |
| Potencia | 0,37 [Kw] |

Fuente: "Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120".

En el Cuadro 27 aparece información de las salas y recintos del piso 1:

Cuadro 27: Instalaciones reales de iluminación edificio CEC.

| Recinto | Capacidad [Personas] | Superficie [m ²] | Potencia Iluminación [W/m ²] |
|------------------|-------------------------|---------------------------------|---|
| B101 | 19 | 24 | 16 |
| B102 | 19 | 24 | 16 |
| B103 | 58 | 62.8 | 10.7 |
| B104 | 100 | 128.4 | 10.3 |
| B105 | 58 | 62.8 | 10.7 |
| B106 | 20 | 24 | 16 |
| B107 | 20 | 24 | 16 |
| B108 | 24 | 24 | 16 |
| B109 | 24 | 24 | 16 |
| B110 | 20 | 24 | 16 |
| B111 | 58 | 62.8 | 10.7 |
| B112 | 88 | 113.6 | 11.4 |
| B113 | 58 | 62.8 | 10.7 |
| B114 | 19 | 24 | 16 |
| B115 | 19 | 24 | 16 |
| Baños Damas | - | 18 | 17.9 |
| Baños Varones I | - | 22 | 18.4 |
| Baños Varones II | - | 17.5 | 22 |
| Baños Profesores | - | 10.5 | 30.7 |
| Total | 508 | 694.4 | Promedio= 15,6 |

Fuente: “Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120”.

Los siguientes cuadros (Cuadro 28, Cuadro 29, Cuadro 30 y Cuadro 31) muestran más valores ingresados al programa *DesignBuilder*, mostrando propiedades generales, térmicas y de materiales, entrega de datos y valores omitidos o ingresados como nulos.

Cuadro 28: Propiedades generales edificio CEC.

| Escenario General | Ecotect | TAS | EnergyPlus |
|--|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Condiciones Internas de Diseño | | | |
| Condiciones Climaticas | desde archivo | desde archivo | desde archivo |
| Clothing (clo) | 1 ^a | 1 | 1 |
| % Humedad en el edificio | 60 | valor variable | - |
| Velocidad del viento interior [m/s] | 0,5 ^a | - | - |
| Nivel de iluminancia [lux] | 400 | 400 | 400 |
| Porcion radiante de la ganancia en iluminacion | - | 0,48 ^b | 0,42 ^b |
| Porcion radiante de la ganancia por ocupación | - | 0 ^c | 0 ^c |
| Porcion radiante de la ganancia por equipos | - | 0,1 ^b | 0,2 ^b |
| Ocupancia y operación | | | |
| Ingreso cantidad de personas | Nº personas | Nº personas/m2 | Nº personas/m2 |
| Ganancia sensible de calor por persona | 100 ^a | 100 | 99 ^a |
| Horario de ocupación | 8:00 a 20:00 | 8:00 a 20:00 | 8:00 a 20:00 |
| Ganancia sensible iluminacion y equipos | ingreso manual | ingreso manual ^d | ingreso manual ^d |
| Tipo de Luminaria | - | - | Tubo suspendido techo |
| Calendario anual de utilización | creable/editable | creable/editable | creable/editable |
| Ventilación / Infiltración | | | |
| Aire requerido por persona | 8 Lts/s/p | 8 Lts/s/p | 8 Lts/s/p |
| Sensibilidad del edificio al viento [ach] | seleccionable | ingreso manual | - |
| Sensibilidad del edificio al viento [ach] | 0,5 ^a | - | - |
| Horario de operación ventilación | 8:00 - 20:00 hrs | 8:00 - 20:00 hrs | 8:00 - 20:00 hrs |
| Indice infiltración [ach] | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Cambio de aire por hora | seleccionable | ingreso manual | ingreso manual |

Fuente: “Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120”.

Cuadro 29: Propiedades térmicas envolvente edificio CEC.

| Propiedades térmicas | Ecotect | TAS | EnergyPlus |
|--------------------------------------|---------------|-------------------|---------------|
| Sistema calefacción | seleccionable | - | seleccionable |
| Sistema calefacción escogido | ninguno | - | ninguno |
| Limites de confort [°C] | 20° a 24° | 20° a 24° | 20° a 24° |
| Horario de ocupación | 8:00 a 20:00 | 8:00 a 20:00 | 8:00 a 20:00 |
| Indice de reflexión del suelo | - | 0,2 | - |
| Propiedades materiales | | | |
| <i>Ventanas</i> | | | |
| Coefficiente global [W/m^2K] | 3,6 | 3,86 ^a | 3,6 |
| Admitancia [W/m^2K] | 0,84 | 5,518 | - |
| Coefficiente ganancia calor solar | 0,6 | 0,643 | 0,619 |
| Indice refraccion vidrio | 0,06 | 0,136 | - |
| <i>Muros Interiores y exteriores</i> | | | |
| Coefficiente global [W/m^2K] | 2,17 | 2,17 | 2,17 |
| Admitancia [W/m^2K] | 4,38 | 5,518 | 5,54 |
| Absorción solar | 0,418 | 0,4 | - |
| Factor de Amortiguamiento | 0,7 | - | - |
| Factor de Desfase | 3 | 1,956 | - |

Fuente: “Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120”.

Cuadro 30: Entrega de datos de edificio CEC.

| Entrega de datos | Ecotect | TAS | EnergyPlus |
|--|---------|-----------------|-----------------|
| Entrega un archivo separado con los resultados | NO | SI | NO |
| Exportación de archivos a Microsoft excel | SI | SI | SI |
| Datos sobre radiacion solar colectada | SI | SI | SI |
| Datos sobre perdidas/ganancia por conduccion | SI | SI ^a | SI ^a |
| Datos sobre perdidas/ganancia por ventilación e infiltración | SI | SI | SI |
| Datos sobre ganancia interna debido a la ocupación | SI | SI | SI |
| Datos sobre ganancia interna debido a la iluminación | NO | SI | SI |
| Datos sobre ganancia interna debido a los equipos | NO | SI | SI |
| Resumen de datos por hora y dia | NO | SI | SI |
| Resumen de datos por hora y mes | SI | SI ^b | NO |
| Suma mensual de valores | NO | SI ^b | SI |
| Suma anual de valores | NO | SI ^b | SI |
| Resumen del aporte de cada variable sobre el total | SI | SI ^b | SI |

Fuente: “Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120”.

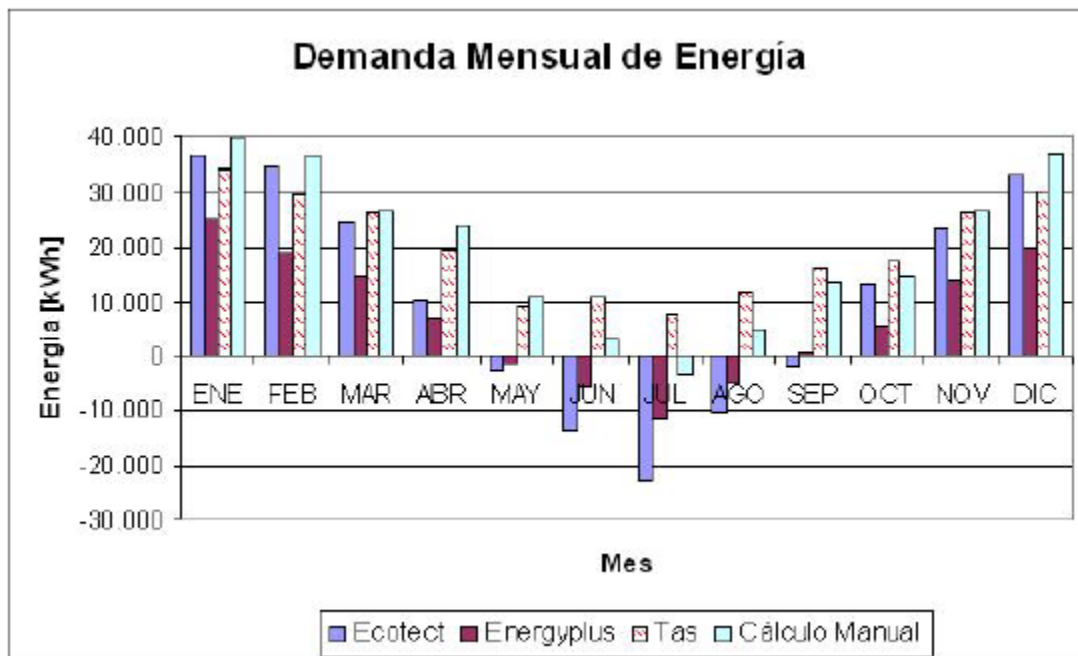
Cuadro 31: Propiedades condiciones cero o nulas, edificio CEC.

| Variables que no fueron consideradas | Ecotect | TAS | EnergyPlus |
|---|----------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Ingreso Agua Caliente Sanitaria (ACS) | - | ingreso manual | ingreso manual |
| Generación de contaminantes [g/hr/m ²] | - | ingreso manual | - |
| Ganancia latente por persona | ingreso manual | ingreso manual | ingreso manual |
| Ganancia latente iluminacion y equipos | ingreso manual | ingreso manual ^a | ingreso manual ^a |
| Aire exterior | - | ingreso manual | - |
| Aperturas, grietas, orificios | - | ingreso manual | - |
| Elemento sustituible por otro elemento/material | - | ingreso manual | - |
| Características de las sombras que recibe el edificio | ingreso manual | ingreso manual | ingreso manual |
| Entrega detallada de datos para alguna superficie | - | ingreso manual | - |
| Movimiento de aire entre zonas | - | ingreso manual | - |
| Generacion de Calor debido a otras fuentes | - | Ingreso manual | Ingreso manual |
| Ventanas en el techo o tragaluces | Ingreso manual | Ingreso manual | Ingreso manual |

Fuente: “Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120”.

Se muestra en el Cuadro 32 el resumen de los resultados obtenidos en la modelación, en donde la energía para calefaccionar se considera con signo negativo, mientras que la energía para refrigerar con signo positivo:

Cuadro 32: Perfil de demanda anual de energía edificio CEC.



Fuente: “Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120”.

En el estudio “Análisis técnico en mejoras de eficiencia energética para viviendas de precio entre 1000-3000 UF” se modelaron 3 viviendas ya construidas ubicadas en la Región de los Lagos, con el fin de estimar su demanda energética de calefacción (entre otros análisis).

Se consideran para la cuantificación de la demanda energética de la vivienda tanto pérdidas como ganancias caloríficas. Las pérdidas consideradas son por transmisión, ventilación e infiltración, mientras que las ganancias consideradas son por radiación a través de las ventanas, calor latente y sensible emitido por las personas y las aportadas por los equipos electrónicos e iluminación.

Las pérdidas por transmisión, expresadas en [kWh] se calculan para cada cerramiento de la vivienda: ventanas, puertas, muros exteriores piso y techumbre. Se calculan como sigue:

$$Q_t = UA(T_i - T_e) = UA\Delta T$$

Con:

U: Transmitancia térmica del elemento de la envolvente [W/m²°C].

A: Superficie del elemento de la envolvente [m²].

ΔT : Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior [°C]. Para hacer análisis en un período de tiempo se ocupan Grados-día [GD].

Las pérdidas por ventilación se calculan de la siguiente manera:

$$Q_v = \left(\frac{ACH}{h}\right) V d C_p \Delta T$$

Con:

ACH/h: Renovaciones de aire por hora [1/h].

V: Volumen del recinto [m³].

C_p: Calor específico del aire [J/kg°C]

d: Densidad del aire [kg/m³].

ΔT : Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior [°C]. Para hacer análisis en un período de tiempo se ocupan Grados-día [GD].

Para las pérdidas por infiltración se tienen 2 alternativas. La primera, método establecido en algunas normas, dándole valor al caudal de aire por metro lineal de

junta en las ventanas, después multiplicándolo por los metros lineales de junta y obteniendo finalmente una caudal de infiltración por las ventanas:

$$Q_i = CdC_p\Delta T$$

Con:

C: Caudal de ventilación (aire infiltrado) [m³/h].

ΔT : Diferencia de temperatura entre el exterior y el interior [°C]. Para hacer análisis en un período de tiempo se ocupan Grados-día [GD].

La segunda alternativa para el cálculo de las pérdidas energéticas por infiltración es la siguiente. Ocupando la misma fórmula que para cuantificar las pérdidas por ventilación, pero ahora usando ahora un valor de ACH/h que corresponda a infiltración:

$$Q_{i2} = \left(\frac{A_1}{1000} \right) \sqrt{C_s \Delta T + C_w V^2}$$

Con:

Q_{i2} : Tasa de flujo de aire [m³/s].

A_1 : Área del escape de aire efectivo [cm²].

C_s : Coeficiente de Snack [(l/s)²/cm⁴K].

C_w : Coeficiente de viento [(l/s)²/cm⁴(m/s)²].

V: Promedio de la velocidad del viento en la zona [m/s].

Luego:

$$\left(\frac{ACH}{h} \right) = \frac{Q_{i2}}{V_v}$$

Con:

ACH/h: renovaciones de aire por hora [1/h].

V_v : Volumen de la vivienda [m³].

Las ganancias caloríficas obtenidas de la radiación solar a través de las ventanas se obtienen de la siguiente manera:

$$Q_r = S_v R f_r$$

Con:

S_v : Superficies de las ventanas expuestas a la radiación solar [m^2].

R : Radiación solar que atraviesa el vidrio [MJ/m^2].

f_r : Factor de corrección (factor solar) de la radiación que es propia de cada tipo de vidrio, usualmente es aportada por el fabricante o distribuidor, adimensional.

El calor sensible emitido por el cuerpo humano a través de radiación y conducción y el calor latente entregado por una personas manifestado a través de la exudación o exhalación se calculan de la siguiente manera:

$$Q_{cs} = n_p Q_s h$$

$$Q_{cl} = n_p Q_l h$$

Con:

Q_{cs} : Ganancia calorífica aportada por el calor sensible [kWh].

Q_{cl} : Ganancia calorífica aportada por el calor latente [kWh].

n_p : Número de personas.

Q_s : Calor sensible [W].

Q_l : Calor latente [W].

h : Horas de ocupación promedio de la vivienda [h].

Para las ganancias caloríficas aportadas por los equipos electrónicos e iluminación, se considera que la potencia de los equipos se transformará en calor sensible, el que aporta a una ganancia calorífica de la vivienda. Se calcula como:

$$Q_e = (P_i + P_e) S h$$

Con:

Q_e : Ganancia calorífica aportada por los equipos [kWh].

P_i : Potencia de iluminación [W/m^2].

P_e : Potencia de los equipos [W/m^2].

CAPÍTULO 3: CÁLCULO DE IMPACTOS EN EL USO DE RECURSOS ENERGÉTICOS

3.1 Cálculo de energía teórica

Lo que se requiere calcular son las pérdidas (transmisión, infiltración y ventilación) y ganancias (radiación, personas y equipos) térmicas o caloríficas a través de la envolvente de la vivienda, para lo cual, se deben realizar cálculos previos. Utilizando los valores de transmitancia térmica de la Reglamentación Térmica para la envolvente de la vivienda, falta conocer la transmitancia de ventanas y puertas. Para el caso de ventanas simples, se consideran que están hechas de vidrio plano ($\lambda = 1,2 \text{ W/mK}$) de 3 mm de espesor para cada zona térmica, sin marco metálico o de algún otro material. Para el caso de ventanas de doble vidriado, se consideran que están hechas de 2 vidrios planos ($\lambda = 1,2 \text{ W/mK}$ cada uno) de 3 mm de espesor separados por una cámara de aire de 10 mm de espesor ($\lambda = 0,024 \text{ W/mK}$). Si la velocidad del viento en el exterior de la vivienda es superior a 10 km/h, $R_{se} = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$ (NCh853-2007). Se utiliza la velocidad del viento a 5 m del suelo. Los resultados se observan en el Cuadro 33:

Cuadro 33: Transmitancia térmica de puertas y ventanas.

| Zona | Localidad | V viento* [m/s] | U ventanas [W/m ² K] | |
|------|-----------------|--------------------|------------------------------------|-------|
| | | | Simple | Doble |
| 1 | Iquique | 1,4 | 5,80 | 1,69 |
| 2 | Ovalle | 1,4 | 5,80 | 1,69 |
| 3 | Pudahuel | 1 | 5,80 | 1,69 |
| 4 | Concepción | 2,2 | 5,80 | 1,69 |
| 5 | Puerto Saavedra | 2,8 | 8,16 | 1,85 |
| 6 | Lago Chapo | 3,4 | 8,16 | 1,85 |
| 7 | Punta Arenas | 5,4 | 8,16 | 1,85 |

*Fuente: Explorador de energía eólica [36].

Para el caso de las puertas de la vivienda, se consideran dos tableros de fibra de madera de densidad aparente 1.030 kg/m^3 ($\lambda = 0,28 \text{ W/mK}$) como capas

exteriores de un espesor de 4 mm, con una cámara de aire entre ellas de 30 mm (80% del volumen de la puerta), cuya estructura está hecha con madera de pino insigne ($\lambda = 0,104 \text{ W/mK}$) de 36 mm de espesor (20% del volumen de la puerta), por lo cual se obtiene la transmitancia térmica. Al igual que en el caso de las ventanas, si la velocidad del viento en el exterior de la vivienda es superior a 10 km/h, $R_{se} = 0 \text{ m}^2\text{K/W}$. Los resultados se observan en el Cuadro 34:

Cuadro 34: Transmitancia térmica de puertas de la vivienda.

| Zona | Localidad | U puertas [W/m ² K] |
|------|-----------------|--------------------------------------|
| 1 | Iquique | 2,49 |
| 2 | Ovalle | 2,49 |
| 3 | Pudahuel | 2,49 |
| 4 | Concepción | 2,49 |
| 5 | Puerto Saavedra | 2,84 |
| 6 | Lago Chapo | 2,84 |
| 7 | Punta Arenas | 2,84 |

3.1.1 Caso óptimo teórico

Para cumplir con el porcentaje de superficie vidriada con respecto a muros de la vivienda para el caso óptimo, se requiere mayor cantidad de ventanas orientadas al Norte y nula al Sur, tal como se mencionó en el Capítulo 1, sección 1.3 Metodología. Las dimensiones y cantidades de las ventanas utilizadas en el cálculo para cada zona térmica se observan en el Cuadro 35:

Cuadro 35: Dimensiones de ventanas para cada zona térmica, caso óptimo.

| Zona | Ventanas Norte | Ventanas Este | Ventanas Oeste |
|------|--|----------------------|----------------------|
| 1 | 1 ventana de 2,56x2 m y 2 ventanas de 3x2 m | 1 ventana de 2,7x2 m | 1 ventana de 2,7x2 m |
| 2 | 1 ventana de 2,56x2 m y 2 ventanas de 3x2 m | 1 ventana de 2x2 m | 1 ventana de 2x2 m |
| 3 | 1 ventana de 2,56x2 m y 2 ventanas de 3x2 m | 1 ventana de 2,3x1 m | 1 ventana de 2,3x1 m |
| 4 | 1 ventana de 2,56x2 m y 2 ventanas de 3x2 m | 1 ventana de 1x0,4 m | 1 ventana de 1x0,4 m |
| 5 | 1 ventana de 2,56x2 m y 2 ventanas de 2,1x2 m | - | - |
| 6 | 1 ventana de 2,56x1 m y 2 ventanas de 2,3x1 m | - | - |
| 7 | - | - | - |

A partir del cuadro anterior, se obtienen las superficies de ventanas, muros, pisos ventilados y techumbre para cada zona térmica, valores presentados en el Cuadro 36:

Cuadro 36: Superficie de ventanas, muros, pisos ventilados y techumbre de la vivienda, caso óptimo.

| Zona | Superficie [m ²] | | | | | | | Superficie vidriada [%] |
|------|------------------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------|---------------------|-----------|-------------------------------|
| | Ventanas Norte | Ventanas Este | Ventanas Oeste | Ventanas Sur | Muros | Pisos ventilados | Techumbre | |
| 1 | 17,12 | 5,40 | 5,40 | 0 | 34,9 | 47,7 | 65,1 | 80% |
| 2 | 17,12 | 4 | 4 | 0 | 37,7 | 47,7 | 65,1 | 67% |
| 3 | 17,12 | 2,3 | 2,3 | 0 | 41,1 | 47,7 | 65,1 | 53% |
| 4 | 17,12 | 0,4 | 0,4 | 0 | 44,9 | 47,7 | 65,1 | 40% |
| 5 | 13,52 | 0 | 0 | 0 | 49,3 | 47,7 | 65,1 | 27% |
| 6 | 7,16 | 0 | 0 | 0 | 55,7 | 47,7 | 65,1 | 13% |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62,8 | 47,7 | 65,1 | 0% |

Teniendo los valores de transmitancia térmica (ver Cuadro 10, Cuadro 33 y Cuadro 34), superficie (ver Cuadro 36) y grados-día mensuales de cada localidad (ver Cuadro 37), se pueden obtener las pérdidas mensuales por transmisión de la envolvente de la vivienda, mostradas en el Cuadro 38:

Cuadro 37: Grados-día [°C] por mes en base 20 °C.

| Zona | Localidad | Grados-día [°C] | | | | | | | | | | | | |
|------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
| 1 | Iquique | 0 | 0 | 9,3 | 51 | 86,8 | 120 | 142,6 | 142,6 | 117 | 89,9 | 57 | 6,2 | 822,4 |
| 2 | Ovalle | 38,6 | 46,5 | 89,2 | 161 | 229,3 | 262,5 | 292,2 | 269,2 | 221,4 | 180,7 | 118,6 | 71,4 | 1980,6 |
| 3 | Pudahuel | 0 | 19,6 | 92,1 | 197,8 | 303,2 | 360,4 | 387 | 346,9 | 274,6 | 190,9 | 96,3 | 21,1 | 2289,9 |
| 4 | Concepción | 114,7 | 120,4 | 189,1 | 240 | 285,2 | 324 | 347,2 | 337,9 | 309 | 263,5 | 195 | 139,5 | 2865,5 |
| 5 | Puerto Saavedra | 179,8 | 173,6 | 232,5 | 282 | 344,1 | 360 | 365,8 | 350,3 | 318 | 310 | 255 | 220,1 | 3391,2 |
| 6 | Lago Chapo | 142,6 | 140 | 207,7 | 258 | 322,4 | 357 | 384,4 | 378,2 | 333 | 288,3 | 225 | 179,8 | 3216,4 |
| 7 | Punta Arenas | 286,6 | 263,7 | 344,3 | 391,8 | 483 | 530,9 | 549,7 | 518 | 449,8 | 410 | 343,3 | 314,9 | 4886 |

Fuente: "Temperaturas y grados-día de ciudades de Chile para el cálculo de pérdidas térmicas con fines de ahorro energético en edificios habitacionales".

Cuadro 38: Pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente [kWh], caso óptimo.

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|---------|
| 1 | 0 | 0 | 94,0 | 515,7 | 877,7 | 1213,5 | 1442,0 | 1442,0 | 1183,1 | 909,1 | 576,4 | 62,7 | 8316,3 |
| 2 | 226,2 | 272,5 | 522,7 | 943,4 | 1343,6 | 1538,1 | 1712,2 | 1577,4 | 1297,3 | 1058,8 | 694,9 | 418,4 | 11605,5 |
| 3 | 0 | 87,9 | 412,9 | 886,8 | 1359,3 | 1615,7 | 1735,0 | 1555,2 | 1231,1 | 855,8 | 431,7 | 94,6 | 10266,0 |
| 4 | 462,4 | 485,4 | 762,4 | 967,6 | 1149,8 | 1306,2 | 1399,7 | 1362,2 | 1245,7 | 1062,3 | 786,1 | 562,4 | 11552,3 |
| 5 | 683,1 | 659,5 | 883,3 | 1071,4 | 1307,3 | 1367,7 | 1389,8 | 1330,9 | 1208,2 | 1177,8 | 968,8 | 836,2 | 12884,0 |
| 6 | 412,0 | 404,5 | 600,1 | 745,5 | 931,5 | 1031,5 | 1110,7 | 1092,8 | 962,2 | 833,0 | 650,1 | 519,5 | 9293,5 |
| 7 | 538,8 | 495,8 | 647,3 | 736,6 | 908,1 | 998,1 | 1033,5 | 973,9 | 845,7 | 770,8 | 645,4 | 592,0 | 9186,2 |

Para conocer las pérdidas por infiltración, falta conocer el valor de las renovaciones de aire por hora para cada zona térmica asociadas a ellas, específicamente se necesita el valor de área de escape de aire efectivo A_1 . Los valores de área de escape de aire efectivo utilizados son: para techo $1,8 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, puertas $12 \text{ cm}^2/(\text{cada una})$, muros $0,35 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ y ventanas $0,48 \text{ cm}^2/(\text{metro lineal de junta})$. El coeficiente de Snack y de viento utilizados son de $0,00029 (\text{l/s})^2/\text{cm}^4\text{K}$ y $0,00042 (\text{l/s})^2/\text{cm}^4(\text{m/s})^2$, respectivamente. La diferencia de temperatura utilizada para cada localidad será entre $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (temperatura de confort) como temperatura interior y para la temperatura exterior se utiliza la norma NCh1079.Of77, observando el valor de la temperatura media en julio para la localidad (cuando no se tenga información de una localidad, se obtienen datos de la Dirección Meteorológica de Chile). La velocidad del viento para cada localidad se encuentra en el mapa eólico del Ministerio de Energía, hecho en conjunto con el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, observando los valores a 5 metros del suelo, ya utilizado anteriormente.

Con lo anterior, se puede obtener los valores de área de escape de aire efectivo de techo (Cuadro 39), puertas (Cuadro 40), muros (Cuadro 41) y ventanas (Cuadro 42).

Cuadro 39: Área de escape de aire efectivo de techo de la vivienda para todas las zonas térmicas, caso óptimo.

| Elemento | A_1 [cm^2/m^2] | Superficie [m^2] | A_1 techo [cm^2] |
|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Techo [m^2] | 1,8 | 47,7 | 85,9 |

Cuadro 40: Área de escape de aire efectivo de puertas de la vivienda para todas las zonas térmicas, caso óptimo.

| Elemento | A_1 [cm^2/un] | Unidades [un] | A_1 puertas [cm^2] |
|--------------|-----------------------------------|---------------|---------------------------------|
| Puertas [un] | 12 | 2 | 24 |

Cuadro 41: Área de escape de aire efectivo de muros de la vivienda, caso óptimo.

| Zona | A ₁ [cm ² /m ²] | Superficie [m ²] | A ₁ muros [cm ²] |
|------|--|---------------------------------|--|
| 1 | 0,35 | 34,9 | 12,2 |
| 2 | 0,35 | 37,7 | 13,2 |
| 3 | 0,35 | 41,1 | 14,4 |
| 4 | 0,35 | 44,9 | 15,7 |
| 5 | 0,35 | 49,3 | 17,3 |
| 6 | 0,35 | 55,7 | 19,5 |
| 7 | 0,35 | 62,8 | 22,0 |

Cuadro 42: Área de escape de aire efectivo de ventanas de la vivienda, caso óptimo.

| Zona | A ₁ [cm ² /m] | Distancia junta [m] | A ₁ ventanas [cm ²] |
|------|--|------------------------|---|
| 1 | 0,48 | 47,92 | 23,0 |
| 2 | 0,48 | 45,12 | 21,7 |
| 3 | 0,48 | 42,32 | 20,3 |
| 4 | 0,48 | 34,72 | 16,7 |
| 5 | 0,48 | 25,52 | 12,2 |
| 6 | 0,48 | 20,32 | 9,8 |
| 7 | 0,48 | 0 | 0 |

En el Cuadro 43 aparece el cálculo de las renovaciones de aire por hora asociadas a pérdidas por infiltración:

Cuadro 43: Renovaciones de aire por hora asociadas a pérdidas por infiltración de la vivienda.

| Zona | V viento [m/s] | ΔT [K] | Renovaciones de aire por hora [1/h] |
|------|-------------------|--------|--|
| 1 | 1,4 | 5,1 | 0,216 |
| 2 | 1,4 | 9,4 | 0,273 |
| 3 | 1 | 12,1 | 0,297 |
| 4 | 2,2 | 11,3 | 0,302 |
| 5 | 2,8 | 10,7 | 0,299 |
| 6 | 3,4 | 13,5 | 0,333 |
| 7 | 5,4 | 17,8 | 0,373 |

La densidad del aire utilizada para todas las localidades es de 1,2 kg/m³, ya que su variación es pequeña. El calor específico del aire utilizado es de 1012 J/kg°C, que supone condiciones típicas de habitación: altitud de 194 metros sobre el nivel del mar (el promedio de la población mundial), una temperatura de 23 °C,

un 40,85% de humedad relativa y 760 mmHg de presión. Con esto se obtienen las pérdidas por infiltración de la envolvente, tal como lo muestra el Cuadro 44:

Cuadro 44: Pérdidas térmicas por infiltración de la envolvente [kWh], caso óptimo.

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 1,8 | 9,8 | 16,7 | 23,1 | 27,4 | 27,4 | 22,5 | 17,3 | 11,0 | 1,2 | 158,1 |
| 2 | 9,4 | 11,3 | 21,7 | 39,1 | 55,7 | 63,7 | 71,0 | 65,4 | 53,8 | 43,9 | 28,8 | 17,3 | 480,9 |
| 3 | 0 | 5,2 | 24,3 | 52,2 | 80,1 | 95,2 | 102,2 | 91,6 | 72,5 | 50,4 | 25,4 | 5,6 | 604,8 |
| 4 | 30,8 | 32,4 | 50,8 | 64,5 | 76,6 | 87,1 | 93,3 | 90,8 | 83,0 | 70,8 | 52,4 | 37,5 | 770,0 |
| 5 | 47,8 | 46,1 | 61,8 | 74,9 | 91,4 | 95,7 | 97,2 | 93,1 | 84,5 | 82,4 | 67,8 | 58,5 | 901,1 |
| 6 | 42,3 | 41,5 | 61,6 | 76,5 | 95,5 | 105,8 | 113,9 | 112,1 | 98,7 | 85,4 | 66,7 | 53,3 | 953,2 |
| 7 | 94,9 | 87,4 | 114,0 | 129,8 | 160,0 | 175,9 | 182,1 | 171,6 | 149,0 | 135,8 | 113,7 | 104,3 | 1618,5 |

Para conocer las pérdidas por ventilación, falta conocer el valor de las renovaciones de aire por hora para cada zona térmica asociado a ellas. Este valor se puede encontrar en la Norma NCh1960.Of89, en donde se entregan rangos de valores para los distintos recintos de las viviendas, tal como se mencionó en el Capítulo 1, sección 1.3 Metodología. Los valores elegidos para el cálculo para cada recinto aparecen en el Cuadro 45:

Cuadro 45: Renovaciones de aire de vivienda consideradas según NCh1960.Of89.

| Recinto | n [1/h] |
|------------------------------|---------|
| Cocina | 4 |
| Dormitorios y Living-Comedor | 1,5 |
| Baño | 8 |

Se procede a calcular entonces los valores de pérdidas por ventilación de la envolvente, con los mismos supuestos de densidad y calor específico del aire que las pérdidas por infiltración, tal como se muestra en el Cuadro 46:

Cuadro 46: Pérdidas térmicas por ventilación de la envolvente [kWh], caso óptimo.

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1 | 0 | 0 | 19,4 | 106,5 | 181,2 | 250,5 | 297,7 | 297,7 | 244,2 | 187,7 | 119,0 | 12,9 | 1716,7 |
| 2 | 80,6 | 97,1 | 186,2 | 336,1 | 478,7 | 548,0 | 610,0 | 561,9 | 462,2 | 377,2 | 247,6 | 149,0 | 4134,4 |
| 3 | 0 | 40,9 | 192,3 | 412,9 | 632,9 | 752,3 | 807,8 | 724,1 | 573,2 | 398,5 | 201,0 | 44,0 | 4780,1 |
| 4 | 239,4 | 251,3 | 394,7 | 501,0 | 595,3 | 676,3 | 724,8 | 705,4 | 645,0 | 550,0 | 407,1 | 291,2 | 5981,6 |
| 5 | 375,3 | 362,4 | 485,3 | 588,7 | 718,3 | 751,5 | 763,6 | 731,2 | 663,8 | 647,1 | 532,3 | 459,5 | 7079,0 |
| 6 | 297,7 | 292,2 | 433,6 | 538,6 | 673,0 | 745,2 | 802,4 | 789,5 | 695,1 | 601,8 | 469,7 | 375,3 | 6714,1 |
| 7 | 598,3 | 550,5 | 718,7 | 817,9 | 1008,2 | 1108,2 | 1147,5 | 1081,3 | 938,9 | 855,9 | 716,6 | 657,3 | 10199,4 |

Se consideran ganancias térmicas por radiación en ventanas, por personas al interior y equipos e iluminación en la vivienda. Los datos necesarios de radiación solar en las distintas localidades para obtener las ganancias térmicas por radiación en ventanas se encuentran en el Anexo C, cuyos resultados se encuentran en el Cuadro 47:

Cuadro 47: Ganancias térmicas por radiación solar a través de ventanas [kWh], caso óptimo.

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1 | 2701,7 | 2672,9 | 2569,7 | 2553,8 | 2429,8 | 2116,6 | 1945,8 | 2016,4 | 2076,7 | 2332,5 | 2484,0 | 2735,1 | 28635,0 |
| 2 | 2573,8 | 2500,9 | 2626,3 | 2301,3 | 2176,1 | 1955,9 | 1902,4 | 2155,3 | 2126,1 | 2620,6 | 2442,0 | 2534,5 | 27915,1 |
| 3 | 2024,3 | 1908,2 | 2069,4 | 1804,4 | 1328,7 | 1087,2 | 1335,5 | 1834,1 | 1765,9 | 1890,5 | 1940,7 | 2001,3 | 20990,3 |
| 4 | 1689,1 | 1614,3 | 1888,8 | 1742,0 | 1339,4 | 934,6 | 1234,9 | 1601,9 | 1673,2 | 1699,3 | 1582,5 | 1614,7 | 18614,8 |
| 5 | 1044,4 | 874,7 | 980,6 | 742,1 | 420,6 | 293,7 | 315,1 | 499,5 | 679,0 | 911,1 | 1048,6 | 1080,1 | 8889,4 |
| 6 | 513,7 | 493,8 | 517,3 | 437,0 | 241,8 | 208,8 | 226,5 | 318,0 | 401,8 | 445,5 | 464,8 | 521,1 | 4790,2 |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Para conocer las ganancias térmicas producidas por el calor latente y sensible de las personas al interior de la vivienda, se deben conocer algunos valores. Según recomendaciones de la ASHRAE, se considera un valor de calor sensible y latente de las personas de 60 [W] y 40 [W], respectivamente, referidos a una persona en estado de reposo, sin actividad física. Se considera que las 4 personas de la vivienda se encuentran dentro de ella 16 horas. Los resultados se encuentran en el Cuadro 48:

Cuadro 48: Ganancias térmicas por calor latente y sensible de personas [kWh], caso óptimo.

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 a 7 | 198,4 | 179,2 | 198,4 | 192,0 | 198,4 | 192,0 | 198,4 | 198,4 | 192,0 | 198,4 | 192,0 | 198,4 | 2336,0 |

Para obtener las ganancias térmicas por la utilización de equipos e iluminación al interior de la vivienda se considera que estos en conjunto poseen un aporte de 2 [W/m²] a la vivienda, valor recomendado por algunos Software de eficiencia energética. El ASHRAE recomienda utilizar un valor de aporte energético de equipos dependientes de su potencia y cantidades que se posean, mientras que para la iluminación recomienda un valor dependiente del tipo de edificio analizado, método que obliga a especificar y detallar lo utilizado al interior de la vivienda, por lo cual se descarta para no perder generalidad. En el Cuadro 49 aparecen los resultados para este tipo de ganancias térmicas:

Cuadro 49: Ganancias térmicas por equipos e iluminación en la vivienda [kWh], caso óptimo.

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1 a 7 | 47,4 | 42,8 | 47,4 | 45,8 | 47,4 | 45,8 | 47,4 | 47,4 | 45,8 | 47,4 | 45,8 | 47,4 | 557,6 |

3.1.2 Caso desfavorable teórico

Para cumplir con el porcentaje de superficie vidriada con respecto a muros de la vivienda para el caso desfavorable, se requiere orientar las ventanas hacia el Sur y nunca hacia a otras orientaciones, tal como se mencionó en el Capítulo 1, sección 1.3 Metodología. Las dimensiones y cantidades de las ventanas utilizadas en el cálculo para cada zona térmica se observan en el Cuadro 50:

Cuadro 50: Dimensiones de ventanas para cada zona térmica, caso desfavorable.

| Zona | Ventanas Sur |
|------|--|
| 1 | - |
| 2 | 1 ventana de 1,15x1 m |
| 3 | 1 ventana de 2,3x1 m |
| 4 | 2 ventanas de 1,65x1 m |
| 5 | 2 ventanas de 2,2x1 m |
| 6 | 1 ventana de 2,56x1 m y 2 ventanas de 1,5x1 m |
| 7 | 1 ventana de 2,56x1 m y 2 ventanas de 2x1 m |

A partir del cuadro anterior, se obtienen las superficies de ventanas, muros, pisos ventilados y techumbre para cada zona térmica, valores presentados en el Cuadro 51:

Cuadro 51: Superficie de ventanas, muros, pisos ventilados y techumbre de la vivienda, caso desfavorable.

| Zona | Superficie [m ²] | | | | | | | Superficie vidriada [%] |
|------|------------------------------|---------------|----------------|--------------|-------|------------------|-----------|-------------------------|
| | Ventanas Norte | Ventanas Este | Ventanas Oeste | Ventanas Sur | Muros | Pisos ventilados | Techumbre | |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 62,8 | 47,7 | 65,1 | 0% |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 1,15 | 61,7 | 47,7 | 65,1 | 2% |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 2,3 | 60,5 | 47,7 | 65,1 | 4% |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 3,3 | 59,5 | 47,7 | 65,1 | 6% |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 4,4 | 58,4 | 47,7 | 65,1 | 8% |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 5,56 | 57,3 | 47,7 | 65,1 | 10% |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 6,56 | 56,3 | 47,7 | 65,1 | 12% |

Teniendo los valores de transmitancia térmica (ver Cuadro 10, Cuadro 33 y Cuadro 34), superficie (ver Cuadro 51) y grados-día mensuales de cada localidad (ver Cuadro 37), se pueden obtener las pérdidas mensuales por transmisión de la envolvente de la vivienda, mostradas en el Cuadro 52:

Cuadro 52: Pérdidas térmicas por transmisión de la envolvente [kWh], caso desfavorable.

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|
| 1 | 0 | 0 | 108,4 | 594,7 | 1012,1 | 1399,2 | 1662,7 | 1662,7 | 1364,2 | 1048,2 | 664,6 | 72,3 | 9589,2 |
| 2 | 259,6 | 312,8 | 600,0 | 1083,0 | 1542,4 | 1765,7 | 1965,5 | 1810,8 | 1489,2 | 1215,5 | 797,8 | 480,3 | 13322,5 |
| 3 | 0 | 94,2 | 442,8 | 951,0 | 1457,7 | 1732,7 | 1860,6 | 1667,8 | 1320,2 | 917,8 | 463,0 | 101,4 | 11009,1 |
| 4 | 500,1 | 525,0 | 824,5 | 1046,5 | 1243,5 | 1412,7 | 1513,9 | 1473,3 | 1347,3 | 1148,9 | 850,2 | 608,3 | 12494,3 |
| 5 | 793,4 | 766,0 | 1025,9 | 1244,3 | 1518,3 | 1588,5 | 1614,1 | 1545,7 | 1403,2 | 1367,9 | 1125,2 | 971,2 | 14963,5 |
| 6 | 528,2 | 518,5 | 769,3 | 955,6 | 1194,1 | 1322,2 | 1423,7 | 1400,7 | 1233,3 | 1067,8 | 833,3 | 665,9 | 11912,6 |
| 7 | 880,1 | 809,8 | 1057,3 | 1203,2 | 1483,2 | 1630,3 | 1688,1 | 1590,7 | 1381,3 | 1259,1 | 1054,2 | 967,0 | 15004,2 |

Para conocer las pérdidas por infiltración, falta conocer el valor de las renovaciones de aire por hora para cada zona térmica asociado a ellas, específicamente se necesita el valor de área de escape de aire efectivo A_1 . Los valores de área de escape de aire efectivo utilizados junto con los supuestos de valores de diferencia de temperatura del aire y velocidad de viento son los mismos utilizados en la sección anterior.

Luego, se puede obtener los valores de área de escape de aire efectivo de techo (igual a caso óptimo, ver Cuadro 39), puertas (igual a caso óptimo, ver Cuadro 40), muros (Cuadro 53) y ventanas (Cuadro 54).

Cuadro 53: Área de escape de aire efectivo de muros de la vivienda, caso desfavorable.

| Zona | A_1 [cm ² /m ²] | Superficie [m ²] | A_1 muros [cm ²] |
|------|---|---------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0,35 | 62,8 | 22,0 |
| 2 | 0,35 | 61,7 | 21,6 |
| 3 | 0,35 | 60,5 | 21,2 |
| 4 | 0,35 | 59,5 | 20,8 |
| 5 | 0,35 | 58,4 | 20,5 |
| 6 | 0,35 | 57,3 | 20,0 |
| 7 | 0,35 | 56,3 | 19,7 |

Cuadro 54: Área de escape de aire efectivo de ventanas de la vivienda, caso desfavorable.

| Zona | A ₁ [cm ² /m] | Distancia junta [m] | A ₁ ventanas [cm ²] |
|------|--|------------------------|---|
| 1 | 0,48 | 0 | 0 |
| 2 | 0,48 | 4,3 | 2,1 |
| 3 | 0,48 | 6,6 | 3,2 |
| 4 | 0,48 | 10,6 | 5,1 |
| 5 | 0,48 | 12,8 | 6,1 |
| 6 | 0,48 | 17,12 | 8,2 |
| 7 | 0,48 | 19,12 | 9,2 |

En el Cuadro 55 aparece el cálculo de las renovaciones de aire por hora asociadas a pérdidas por infiltración:

Cuadro 55: Renovaciones de aire por hora asociadas a pérdidas por infiltración de la vivienda, caso desfavorable.

| Zona | V viento [m/s] | ΔT [K] | Renovaciones de aire por hora [1/h] |
|------|-------------------|----------------|--|
| 1 | 1,4 | 5,1 | 0,197 |
| 2 | 1,4 | 9,4 | 0,252 |
| 3 | 1 | 12,1 | 0,276 |
| 4 | 2,2 | 11,3 | 0,289 |
| 5 | 2,8 | 10,7 | 0,293 |
| 6 | 3,4 | 13,5 | 0,331 |
| 7 | 5,4 | 17,8 | 0,392 |

La densidad del aire utilizada para todas las localidades, el calor específico del aire con sus respectivos supuestos son los mismos que en el caso de la sección anterior, con lo cual se obtienen las pérdidas por infiltración de la envolvente, tal como lo muestra el Cuadro 56:

Cuadro 56: Pérdidas térmicas por infiltración de la envolvente [kWh], caso desfavorable.

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 1,6 | 8,9 | 15,2 | 21,0 | 24,9 | 24,9 | 20,4 | 15,7 | 10,0 | 1,1 | 143,7 |
| 2 | 8,6 | 10,4 | 20,0 | 36,1 | 51,4 | 58,8 | 65,5 | 60,3 | 49,6 | 40,5 | 26,6 | 16,0 | 443,7 |
| 3 | 0 | 4,8 | 22,6 | 48,5 | 74,3 | 88,4 | 94,9 | 85,1 | 67,3 | 46,8 | 23,6 | 5,2 | 561,5 |
| 4 | 29,4 | 30,9 | 48,5 | 61,6 | 73,2 | 83,1 | 89,1 | 86,7 | 79,3 | 67,6 | 50,0 | 35,8 | 735,0 |
| 5 | 46,8 | 45,2 | 60,5 | 73,4 | 89,5 | 93,7 | 95,2 | 91,1 | 82,7 | 80,6 | 66,3 | 57,3 | 882,3 |
| 6 | 42,0 | 41,2 | 61,1 | 75,9 | 94,9 | 105,1 | 113,1 | 111,3 | 98,0 | 84,8 | 66,2 | 52,9 | 946,5 |
| 7 | 99,9 | 91,9 | 120,0 | 136,6 | 168,3 | 185,0 | 191,6 | 180,5 | 156,8 | 142,9 | 119,7 | 109,8 | 1703,0 |

Se procede a calcular los valores de pérdidas por ventilación de la envolvente, con los mismos supuestos de cantidad de renovaciones de aire que el caso óptimo, además de los mismos supuestos de densidad y calor específico del aire que las pérdidas por infiltración, tal como se muestra en el Cuadro 57:

Cuadro 57: Pérdidas térmicas por ventilación de la envolvente [kWh] caso desfavorable.

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|---------|
| 1 | 0 | 0 | 19,4 | 106,5 | 181,2 | 250,5 | 297,7 | 297,7 | 244,2 | 187,7 | 119,0 | 12,9 | 1716,7 |
| 2 | 80,6 | 97,1 | 186,2 | 336,1 | 478,7 | 548,0 | 610,0 | 561,9 | 462,2 | 377,2 | 247,6 | 149,0 | 4134,4 |
| 3 | 0 | 40,9 | 192,3 | 412,9 | 632,9 | 752,3 | 807,8 | 724,1 | 573,2 | 398,5 | 201,0 | 44,0 | 4780,1 |
| 4 | 239,4 | 251,3 | 394,7 | 501,0 | 595,3 | 676,3 | 724,8 | 705,4 | 645,0 | 550,0 | 407,1 | 291,2 | 5981,6 |
| 5 | 375,3 | 362,4 | 485,3 | 588,7 | 718,3 | 751,5 | 763,6 | 731,2 | 663,8 | 647,1 | 532,3 | 459,5 | 7079,0 |
| 6 | 297,7 | 292,2 | 433,6 | 538,6 | 673,0 | 745,2 | 802,4 | 789,5 | 695,1 | 601,8 | 469,7 | 375,3 | 6714,1 |
| 7 | 598,3 | 550,5 | 718,7 | 817,9 | 1008,2 | 1108,2 | 1147,5 | 1081,3 | 938,9 | 855,9 | 716,6 | 657,3 | 10199,4 |

Se consideran ganancias térmicas por radiación en ventanas, por personas al interior y equipos e iluminación en la vivienda. Los datos necesarios de radiación solar en las distintas localidades para obtener las ganancias térmicas por radiación en ventanas se encuentran en el Anexo C, cuyos resultados se encuentran en el Cuadro 58:

Cuadro 58: Ganancias térmicas por radiación solar a través de ventanas [kWh], caso desfavorable.

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 100,7 | 67,9 | 54,2 | 41,4 | 33,4 | 28,0 | 30,5 | 38,7 | 47,9 | 63,3 | 89,5 | 107,3 | 702,8 |
| 3 | 202,0 | 133,7 | 105,6 | 78,1 | 57,6 | 46,1 | 53,9 | 73,1 | 92,4 | 123,0 | 179,7 | 217,0 | 1362,2 |
| 4 | 284,0 | 177,7 | 145,9 | 104,5 | 74,9 | 55,0 | 67,2 | 94,7 | 126,5 | 168,9 | 243,3 | 300,1 | 1842,7 |
| 5 | 326,3 | 209,2 | 174,8 | 113,3 | 66,2 | 46,2 | 52,4 | 85,8 | 130,9 | 200,1 | 301,4 | 363,6 | 2070,3 |
| 6 | 384,9 | 271,7 | 215,8 | 143,8 | 83,2 | 64,1 | 74,0 | 114,8 | 171,1 | 240,3 | 329,0 | 416,4 | 2509,0 |
| 7 | 473,6 | 291,7 | 215,4 | 121,4 | 66,3 | 38,1 | 51,4 | 98,8 | 172,6 | 268,4 | 429,5 | 533,9 | 2761,0 |

Tanto las ganancias térmicas producidas por el calor latente y sensible de las personas al interior de la vivienda como las ganancias térmicas por la utilización de equipos e iluminación al interior de la vivienda son las mismas, al poseer los mismos supuestos de uso que el caso óptimo.

Notar que todos estos valores de energía no dependen del material utilizado en la envolvente de la vivienda, esto es debido a que se analiza la etapa de uso dentro del ciclo de vida de ella. Lo que interesa en esta etapa son los flujos de energía entre el ambiente exterior y el interior, cuantificados por la transmitancia

térmica de la envolvente. En las otras etapas del ciclo de vida de la vivienda influirá el tipo de material utilizado, pero en la etapa de uso lo que interesa es el flujo de calor entre el interior y el exterior de la vivienda, es decir, la transmitancia térmica de la envolvente.

3.1.3 Resumen de casos teóricos

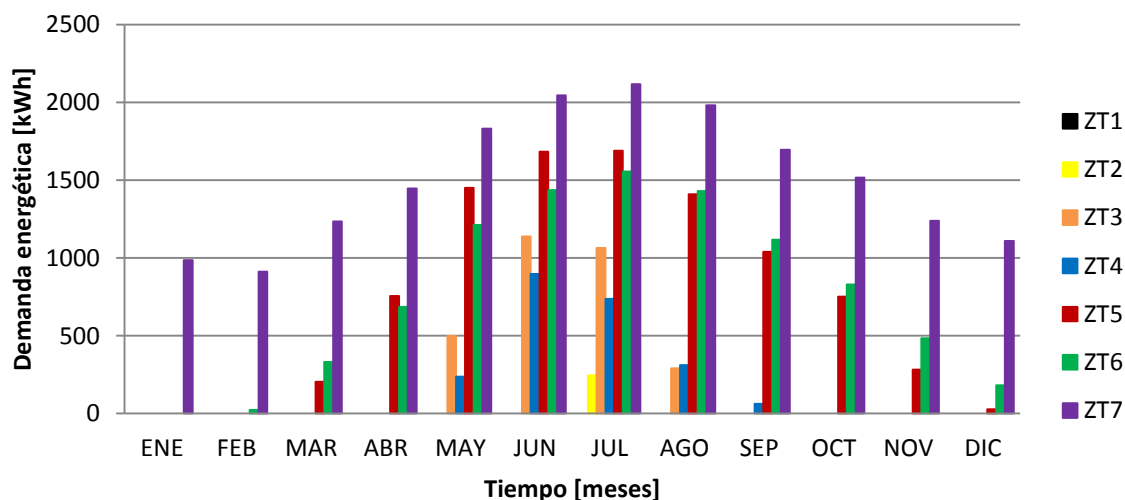
Al obtener las ganancias y pérdidas térmicas de la vivienda, se puede calcular la demanda energética de calefacción de ella, simplemente sumando todas las pérdidas y restando las ganancias. Si esta operación entrega un valor negativo, significa que para ese período de tiempo se requiere refrigeración en vez de calefacción de la vivienda. A continuación se presenta la demanda energética teórica mensual y anual para las distintas zonas térmicas, del caso óptimo (Cuadro 59):

Cuadro 59: Demanda energética teórica mensual, caso óptimo [kWh].

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 245,0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 245,0 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 497,8 | 1138,2 | 1063,8 | 291,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2991,0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 236,7 | 897,2 | 737,1 | 310,8 | 62,8 | 0 | 0 | 0 | 2244,5 |
| 5 | 0 | 0 | 204,1 | 755,1 | 1450,7 | 1683,4 | 1689,7 | 1410,0 | 1039,6 | 750,4 | 282,5 | 28,3 | 9293,7 |
| 6 | 0 | 22,4 | 332,2 | 685,7 | 1212,5 | 1435,9 | 1554,7 | 1430,6 | 1116,4 | 829,0 | 483,8 | 181,3 | 9284,5 |
| 7 | 986,3 | 911,6 | 1234,3 | 1446,4 | 1830,6 | 2044,4 | 2117,3 | 1981,0 | 1695,8 | 1516,8 | 1238,0 | 1107,9 | 18110,5 |

Lo anterior se puede visualizar mejor en un gráfico, mostrado en el Cuadro 60:

Cuadro 60: Gráfico de demanda energética teórica mensual, caso óptimo.



Tal como se esperaba, observando el Cuadro 60 se puede apreciar que la demanda energética aumenta desde la zona térmica 1 a la 7, obteniendo mayores valores en meses de invierno. Notar que para la zona térmica 1 no se tiene demanda energética, por los supuestos dados.

Esta demanda expresada por unidad de superficie de la vivienda al año por zona térmica es el valor que se requiere. En el Cuadro 61 aparece dicha demanda para el caso teórico óptimo:

Cuadro 61: Demanda energética teórica anual por unidad de superficie de la vivienda al año, caso óptimo.

| Zona | Demanda energética anual [kWh/m ² -año] |
|------|--|
| 1 | 0 |
| 2 | 5,1 |
| 3 | 62,7 |
| 4 | 47,1 |
| 5 | 194,8 |
| 6 | 194,6 |
| 7 | 379,7 |

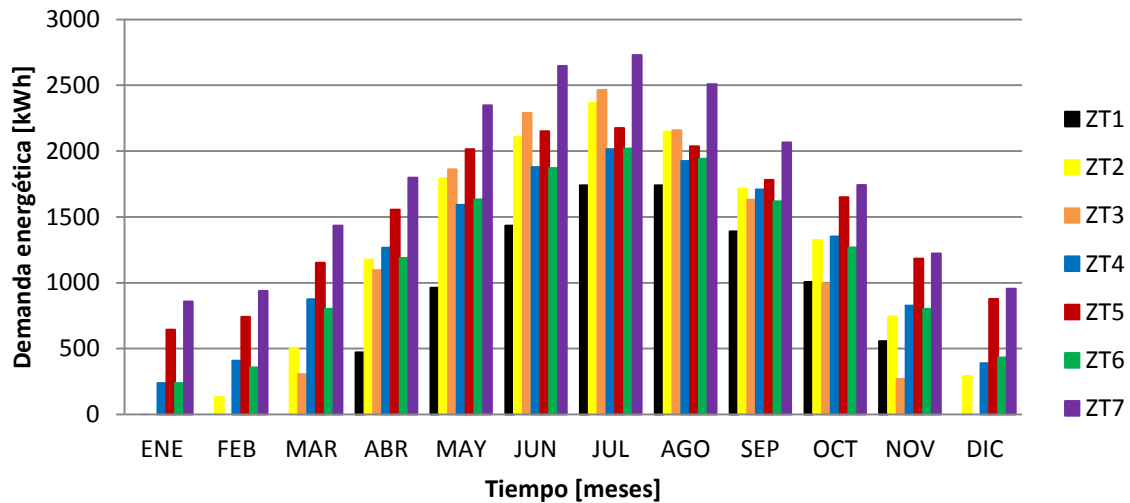
Lo mismo ocurre para el caso teórico desfavorable. A continuación se presenta la demanda energética teórica mensual y anual para las distintas zonas térmicas, del caso desfavorable (Cuadro 62):

Cuadro 62: Demanda energética teórica mensual, caso desfavorable [kWh].

| Zona | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|---------|
| 1 | 0 | 0 | 0 | 472,2 | 962,7 | 1432,8 | 1739,5 | 1739,5 | 1391,1 | 1005,8 | 555,7 | 0 | 9299,5 |
| 2 | 2,4 | 130,3 | 506,3 | 1175,9 | 1793,3 | 2106,6 | 2364,6 | 2148,6 | 1715,3 | 1324,1 | 744,6 | 292,2 | 14304,2 |
| 3 | 0 | 0 | 306,3 | 1096,5 | 1861,6 | 2289,4 | 2463,6 | 2158,1 | 1630,5 | 994,3 | 270,1 | 0 | 13070,4 |
| 4 | 239,2 | 407,5 | 876,1 | 1266,7 | 1591,4 | 1879,3 | 2014,8 | 1924,9 | 1707,3 | 1352,0 | 826,2 | 389,4 | 14474,7 |
| 5 | 643,4 | 742,3 | 1151,2 | 1555,2 | 2014,1 | 2149,6 | 2174,6 | 2036,5 | 1781,0 | 1649,8 | 1184,6 | 878,5 | 17960,9 |
| 6 | 237,2 | 358,3 | 802,4 | 1188,4 | 1632,9 | 1870,6 | 2019,5 | 1941,0 | 1617,5 | 1268,4 | 802,4 | 432,0 | 14170,7 |
| 7 | 858,9 | 938,5 | 1434,9 | 1798,4 | 2347,7 | 2647,7 | 2730,0 | 2508,0 | 2066,6 | 1743,6 | 1223,2 | 954,4 | 21252,0 |

Lo anterior se puede observar gráficamente en el Cuadro 63:

Cuadro 63: Gráfico de demanda energética teórica mensual, caso desfavorable.



En el gráfico anterior se observa la misma tendencia del Cuadro 60, pero esta vez con valores más elevados para cada zona térmica.

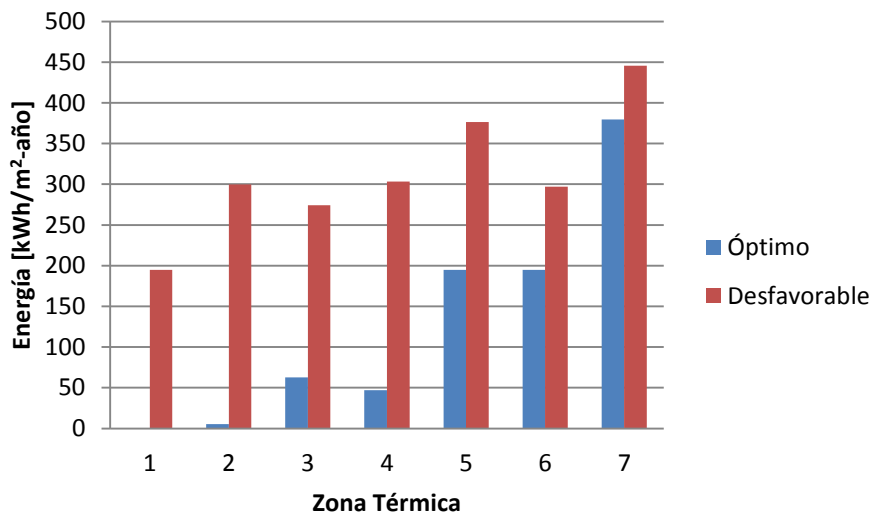
Análogamente, se muestra en el Cuadro 64 la demanda energética teórica anual por unidad de superficie de la vivienda al año, para el caso desfavorable:

Cuadro 64: Demanda energética teórica anual por unidad de superficie de la vivienda al año, caso desfavorable.

| Zona | Demanda energética anual [kWh/m ² -año] |
|------|--|
| 1 | 195 |
| 2 | 299,9 |
| 3 | 274,0 |
| 4 | 303,5 |
| 5 | 376,5 |
| 6 | 297,1 |
| 7 | 445,5 |

A partir del Cuadro 61 y Cuadro 64, se genera el gráfico de demanda energética teórica anual por unidad de superficie de la vivienda al año para ambos casos, que se encuentra en el Cuadro 65:

Cuadro 65: Demanda energética teórica anual por unidad de superficie de la vivienda al año, ambos casos.



Una observación interesante de los datos del Cuadro 65, es que promediando los valores de energía de las 7 zonas térmicas de ambos casos, se obtiene 219,7 kWh/m² al año, valor que se asemeja al encontrado por el MINVU el año 2013 de 192 kWh/m² al año promedio en el país (ver Capítulo 1, sección 1.1 Antecedentes), aunque estos últimos son algo menores.

Los datos obtenidos para el caso óptimo son sólo referenciales, debido a que no se puede reglamentar tener una demanda energética de calefacción superior a un cierto valor, pero sí inferiores a un valor, lo que hace el caso desfavorable. Observando la tendencia creciente de los datos del caso desfavorable, se destacan 2 zonas térmicas que rompen esta monotonía: la zona térmica 2 y 6. En la zona térmica 2 se prefiere obtener una demanda energética similar al promedio entre el valor de las zonas 1 y 3, sin embargo el valor real es mayor. En el Capítulo 5 se analiza qué hacer con este valor que no sigue la tendencia creciente de la demanda energética. En la zona térmica 6 se tiene una demanda energética menor al promedio de entre las zonas 5 y 7, lo cual es mejor, por lo que no requiere modificación.

3.2 Cálculo de energía mediante Software

Se modela la vivienda social en las localidades descritas en 1.3.2.1 Modelación a través de Software, fijando una orientación para cada caso: orientación 0° Norte (Ilustración 2) para el caso óptimo y 180° Sur para el caso desfavorable. Las variables fueron la transmitancia térmica de su envolvente al modelarla en las distintas zonas térmicas, como también el sistema de calefacción en cada una de

las zonas térmicas. Posteriormente, en el Capítulo 5 se realiza el análisis de sensibilidad correspondiente variando la orientación de la vivienda.

Se modelaron 4 tipos de calefacción: leña, estufa a parafina, estufa eléctrica y bomba de calor. Una estufa a gas natural puede ser tomada como un quinto sistema de calefacción, al considerar que ésta posee la misma eficiencia que la estufa a parafina (existe gran variación de eficiencia entre un mismo sistema de calefacción), sin embargo para efectos prácticos son 4 sistemas de calefacción. Dada la naturaleza de la vivienda, en este caso no se considera en ningún recinto el uso de aire acondicionado para bajar la temperatura a partir de una cierta temperatura. Las transmitancias térmicas utilizadas en cada zona térmica de techumbre, muros y pisos ventilados son los que aparecen en el Cuadro 10 del Capítulo 2, sección 2.1.2 Reglamentación Térmica.

Con todos los parámetros específicos explicitados en Anexo B, se realiza una simulación energética anual de la vivienda, y se observa el valor arrojado en *heating* dentro de la opción *fuel breakdown* a nivel de vivienda, normalizando el valor entregado por área ocupada.

A continuación, se muestran los valores arrojados por el programa con estas consideraciones y datos. En el Cuadro 66 aparecen los valores asociados a los distintos tipos de calefacción considerados en todas las zonas térmicas para el caso óptimo:

Cuadro 66: Demanda energética anual mediante software, caso óptimo.

| Tipo calefacción | Leña | Estufa a parafina | Estufa eléctrica | Bomba de calor |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Zona | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] |
| 1 | 186,7 | 106,7 | 74,7 | 21,3 |
| 2 | 361,7 | 206,7 | 144,7 | 41,3 |
| 3 | 334 | 190,8 | 133,6 | 38,2 |
| 4 | 345,8 | 197,6 | 138,3 | 39,5 |
| 5 | 411,1 | 234,9 | 164,4 | 47 |
| 6 | 453,9 | 259,4 | 181,5 | 51,9 |
| 7 | 724,4 | 413,9 | 289,7 | 82,8 |

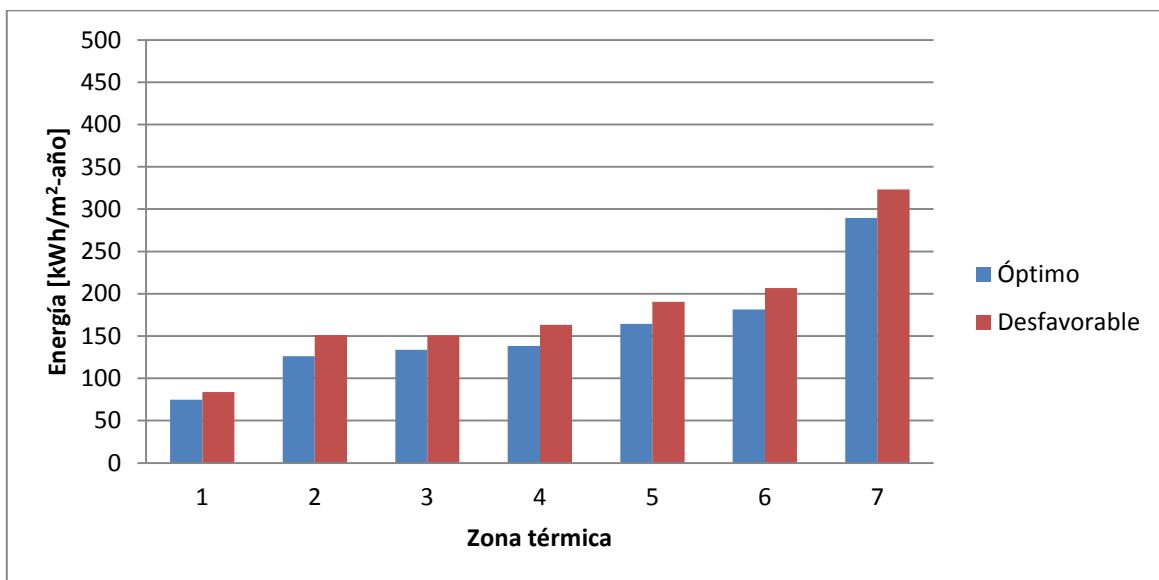
En el Cuadro 67 aparecen los valores asociados a los distintos tipos de calefacción considerados en todas las zonas térmicas para el caso desfavorable:

Cuadro 67: Demanda energética anual software, caso desfavorable.

| Tipo calefacción | Leña | Estufa a parafina | Estufa eléctrica | Bomba de calor |
|------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Zona | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] |
| 1 | 209,1 | 119,5 | 83,6 | 23,9 |
| 2 | 432,7 | 247,3 | 173,1 | 49,5 |
| 3 | 377,2 | 215,5 | 150,9 | 43,1 |
| 4 | 408,1 | 233,2 | 163,2 | 46,7 |
| 5 | 476,3 | 272,2 | 190,5 | 54,5 |
| 6 | 517,1 | 295,5 | 206,8 | 59,1 |
| 7 | 808,2 | 461,8 | 323,3 | 92,4 |

Los 2 cuadros anteriores se pueden observar de mejor manera en un gráfico. En el Cuadro 68 aparece la demanda energética anual mediante Software para los casos de análisis óptimo y desfavorable, utilizando el sistema de calefacción a estufa eléctrica (CoP=1). Los restantes tipos de calefacción poseen la misma tendencia, pero con otros valores:

Cuadro 68: Demanda energética anual mediante software, ambos casos. Calefacción a estufa eléctrica.



A partir del gráfico anterior y de los obtenidos a partir de la modelación teórica de la vivienda, se puede apreciar que la energía demandada por la vivienda tiende a crecer sostenidamente de manera general a medida que aumenta la zona térmica, sin embargo, en la zona térmica 2, independiente del sistema de calefacción utilizado en el caso de simulación mediante Software, se observa un aumento levemente mayor de la demanda energética con respecto a los valores

de las zonas térmicas cercanas, efecto que se repite en el caso desfavorable de la demanda energética teórica. Esto será analizado más adelante en el Capítulo 5 y evidentemente será parte de las recomendaciones finales a la Reglamentación, ya que lo que se busca es reducir la demanda energética, más no aumentarla.

Observar que los rangos de valores entre el caso óptimo y desfavorable del Cuadro 68 son menores que para el caso teórico. Hasta la zona 4, los rangos de valores teóricos contienen los rangos mediante Software, sin embargo, desde la zona 5 hasta la 7, los rangos teóricos son levemente mayores a los mediante Software.

Los valores de emisiones de gases de efecto invernadero que se calculan en el siguiente Capítulo, serán los calculados teóricamente y mediante Software. Sin embargo, los valores de demanda energética arrojados por el programa *DesignBuilder* poseen mayor cantidad de información (meteorológica, constructiva, entre otras), por lo que serán la base para la modificación de la Reglamentación Térmica.

CAPÍTULO 4: CÁLCULO DE IMPACTOS EN LAS EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO

4.1 Factores de emisión

Los Factores de Emisión (FE) son una herramienta que permite conocer la cantidad de CO₂ equivalente (kg CO_{2eq} o ton CO_{2eq}), que se emiten a la atmósfera con el uso de diversos tipos de energéticos.

En el caso de los sistemas interconectados, los FE permiten asociar los MWh generados por las instalaciones conectadas con las toneladas de CO_{2eq} emitidas a la atmósfera por ellas. Además de los factores de emisión asociados a sistemas eléctricos, también existen de otros tipos, como por ejemplo para combustibles, que asocian la cantidad de CO_{2eq} emitido con el peso, volumen, entre otros, o factores de emisión para fuentes móviles.

El Ministerio de Energía ha calculado los Factores de Emisión de referencia para proyectos Mecanismo de Desarrollo Limpio (o MDL), entre los años 2010 y 2013, en los Sistemas Interconectados Central (SIC) y del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), de disposición pública para que cada usuario pueda calcular sus propias emisiones de carbono.

4.1.1 Factores de emisión del SIC, SING y Sistema Eléctrico de Magallanes

Cada zona térmica definida en la Reglamentación Térmica tiene asociado un sistema eléctrico, o uno que más la represente. En el Cuadro 69 se muestra el sistema eléctrico asociado a la zona térmica correspondiente. En el caso de la zona térmica 7, se encuentran en operación los sistemas eléctricos de Magallanes y de Aysén. En esta ocasión, se elige trabajar con el sistema eléctrico de Magallanes.

Cuadro 69: Sistemas eléctricos del país en cada zona térmica.

| Sistema eléctrico | Zona |
|-------------------|------|
| SING | 1 |
| SIC | 2 |
| SIC | 3 |
| SIC | 4 |
| SIC | 5 |
| SIC | 6 |
| Magallanes | 7 |

Los factores de emisión utilizados e investigados son para los sistemas eléctricos del Norte Grande e Interconectado Central. Como muestra el Cuadro 70, estos factores ya han sido calculados por el Ministerio de Energía, entre los años 2010 a 2013, en donde el valor obtenido corresponde al promedio de los factores de emisión de estos 4 años. El cálculo del factor de emisión para el Sistema Eléctrico de Magallanes se encuentra en el Anexo D:

Cuadro 70: Factores de emisión del SIC, SING y Sistema Eléctrico de Magallanes.

| Sistema eléctrico | Factor de emisión [kg CO ₂ /kWh] |
|-------------------|---|
| SING | 0,7643 |
| SIC | 0,3870 |
| Magallanes | 0,6321 |

Fuente: SING y SIC: Huella de carbono, Ministerio de Energía [26]. Magallanes: Elaboración propia.

4.2 Cálculo de emisiones de efecto invernadero

4.2.1 Emisiones de efecto invernadero teóricas

Teniendo en cuenta los valores calculados de energía de la vivienda para las distintas zonas térmicas del Capítulo 3, sección 3.1 Cálculo de energía teórico, se calculan las emisiones de efecto invernadero simplemente multiplicando esta energía por su factor de emisión correspondiente, teniendo en cuenta que a cada zona le corresponde un factor de emisión, tal como se mostró en el Cuadro 69 y Cuadro 70 de la sección anterior. A continuación se presentan las emisiones teóricas correspondientes al caso óptimo de demanda energética, en el Cuadro 71:

Cuadro 71: Emisiones de efecto invernadero teóricas caso óptimo.

| Zona térmica | FE [kg CO _{2eq} /kWh] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] |
|--------------|--------------------------------|--|---|
| 1 | 0,7643 | 0 | 0 |
| 2 | 0,387 | 5,1 | 2,0 |
| 3 | 0,387 | 62,7 | 24,3 |
| 4 | 0,387 | 47,1 | 18,2 |
| 5 | 0,387 | 194,8 | 75,4 |
| 6 | 0,387 | 194,6 | 75,3 |
| 7 | 0,6321 | 379,7 | 240,0 |

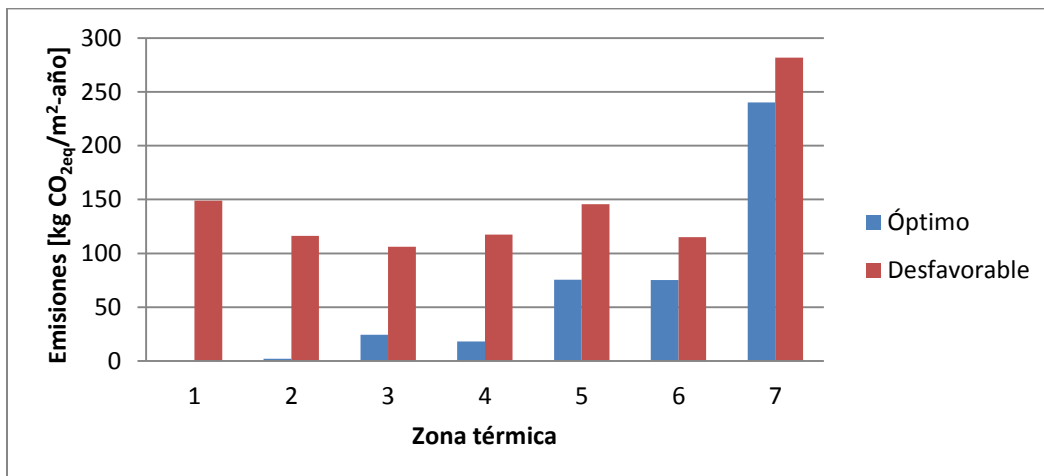
Finalmente, se obtienen las emisiones teóricas correspondientes al caso desfavorable de demanda energética, tal como se aprecia en el Cuadro 72:

Cuadro 72: Emisiones de efecto invernadero teóricas caso desfavorable.

| Zona térmica | FE [kg CO _{2eq} /kWh] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] |
|--------------|--------------------------------|--|---|
| 1 | 0,7643 | 195,0 | 149,0 |
| 2 | 0,387 | 299,9 | 116,1 |
| 3 | 0,387 | 274,0 | 106,0 |
| 4 | 0,387 | 303,5 | 117,4 |
| 5 | 0,387 | 376,5 | 145,7 |
| 6 | 0,387 | 297,1 | 115,0 |
| 7 | 0,6321 | 445,5 | 281,6 |

Los cuadros anteriores se pueden observar de mejor manera en el Cuadro 73:

Cuadro 73: Gráfico de emisiones de efecto invernadero teóricas, ambos casos.



Según el Cuadro 71 y Cuadro 72, el promedio de demanda energética y emisiones de efecto invernadero para ambos casos en Chile es de 219,7 kWh/m²-año y 104,7 kg CO_{2eq}/m²-año, respectivamente.

4.2.2 Emisiones de efecto invernadero mediante datos de Software

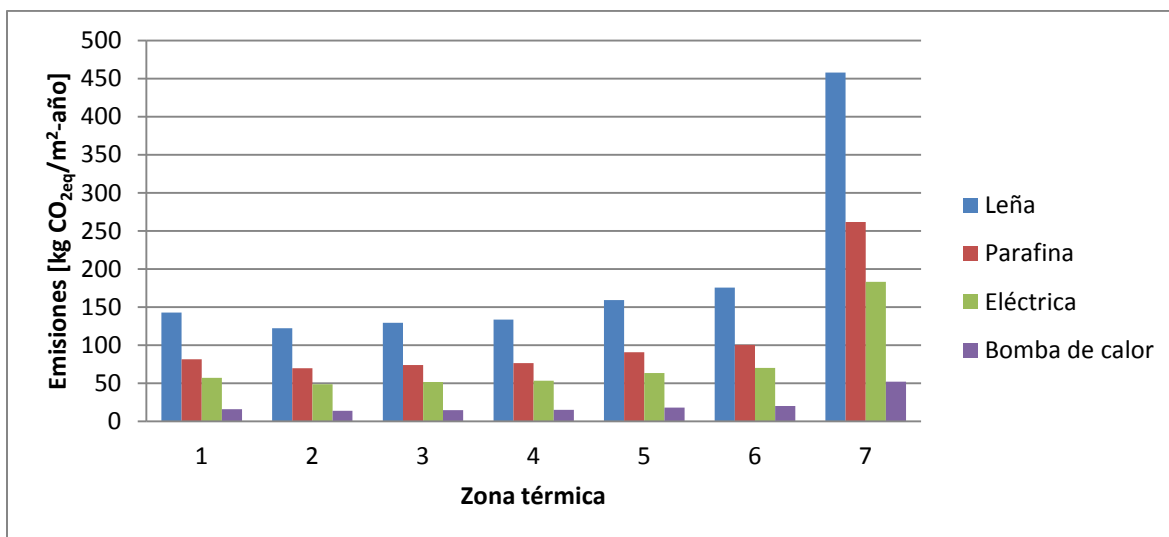
Teniendo en cuenta los valores calculados de energía de la vivienda y sus distintas zonas del Capítulo 3, sección 3.2 Cálculo de energía mediante Software, se calculan las emisiones de efecto invernadero simplemente multiplicando esta energía por su factor de emisión correspondiente, teniendo en cuenta que a cada zona le corresponde un factor de emisión, análogamente a la sección anterior. A continuación se presentan las emisiones mediante Software correspondientes al caso óptimo de demanda energética, en el Cuadro 74:

Cuadro 74: Emisiones de efecto invernadero mediante Software caso óptimo.

| Zona térmica | FE [kg CO _{2eq} /kWh] | Tipo de calefacción | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|--|---|--|---|--|---|--|---|
| | | Leña | | Estufa a parafina | | Estufa eléctrica | | Bomba de calor | |
| | | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] |
| 1 | 0,7643 | 186,7 | 142,7 | 106,7 | 81,6 | 74,7 | 57,1 | 21,3 | 16,3 |
| 2 | 0,387 | 315,7 | 122,2 | 180,4 | 69,8 | 126,3 | 48,9 | 36,1 | 14,0 |
| 3 | 0,387 | 334 | 129,3 | 190,8 | 73,8 | 133,6 | 51,7 | 38,2 | 14,8 |
| 4 | 0,387 | 345,8 | 133,8 | 197,6 | 76,5 | 138,3 | 53,5 | 39,5 | 15,3 |
| 5 | 0,387 | 411,1 | 159,1 | 234,9 | 90,9 | 164,4 | 63,6 | 47 | 18,2 |
| 6 | 0,387 | 453,9 | 175,7 | 259,4 | 100,4 | 181,5 | 70,2 | 51,9 | 20,1 |
| 7 | 0,6321 | 724,4 | 457,9 | 413,9 | 261,6 | 289,7 | 183,1 | 82,8 | 52,3 |

En el Cuadro 75 se pueden observar las emisiones de efecto invernadero gráficamente, para el caso óptimo:

Cuadro 75: Gráfico de emisiones de efecto invernadero mediante Software caso óptimo.



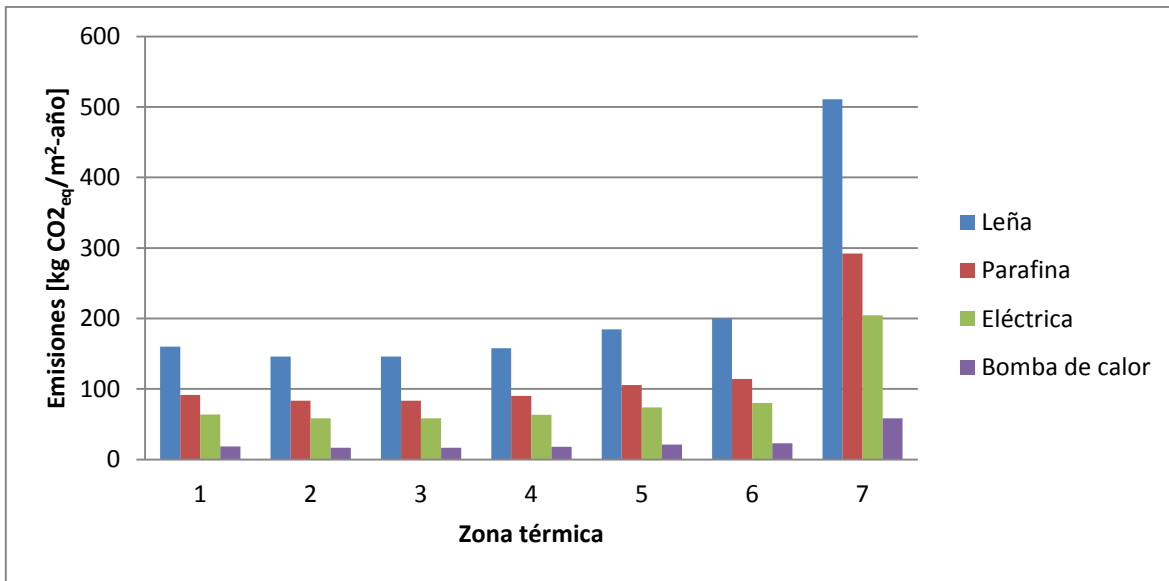
Análogamente, en el Cuadro 76 se muestran las emisiones de efecto invernadero correspondientes al caso desfavorable mediante la utilización del Software:

Cuadro 76: Emisiones de efecto invernadero mediante Software caso desfavorable.

| Zona térmica | FE [kg CO _{2eq} /kWh] | Tipo de calefacción | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|--|---|--|---|--|---|--|---|
| | | Leña | | Estufa a parafina | | Estufa eléctrica | | Bomba de calor | |
| | | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] |
| 1 | 0,7643 | 209,1 | 159,8 | 119,5 | 91,3 | 83,6 | 63,9 | 23,9 | 18,3 |
| 2 | 0,387 | 377,4 | 146,1 | 215,7 | 83,5 | 151 | 58,4 | 43,1 | 16,7 |
| 3 | 0,387 | 377,2 | 146,0 | 215,5 | 83,4 | 150,9 | 58,4 | 43,1 | 16,7 |
| 4 | 0,387 | 408,1 | 157,9 | 233,2 | 90,2 | 163,2 | 63,2 | 46,7 | 18,1 |
| 5 | 0,387 | 476,3 | 184,3 | 272,2 | 105,3 | 190,5 | 73,7 | 54,5 | 21,1 |
| 6 | 0,387 | 517,1 | 200,1 | 295,5 | 114,4 | 206,8 | 80,0 | 59,1 | 22,9 |
| 7 | 0,6321 | 808,2 | 510,9 | 461,8 | 291,9 | 323,3 | 204,4 | 92,4 | 58,4 |

En el Cuadro 77 se pueden observar las emisiones de efecto invernadero gráficamente, para el caso desfavorable:

Cuadro 77: Gráfico de emisiones de efecto invernadero mediante Software caso desfavorable.



Los valores de emisiones de gases de efecto invernadero mediante Software, caso desfavorable serán los incluidos en la Reglamentación Térmica, como valores máximos permitidos para viviendas sociales.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE DE RESULTADOS

5.1 Modificación y análisis de la orientación de la vivienda

En esta sección, se modifica la orientación de la vivienda mediante la utilización de Software dejando fijo parámetros como el sistema de calefacción (en este caso se escoge el sistema de calefacción de estufa a parafina), su correspondiente CoP, características de la envolvente e interior con respecto a lo analizado en el Capítulo 3, superficie de ventanas para cada caso (óptimo y desfavorable), puertas y su distribución espacial, actividades por recinto, temperatura de confort, entre otros, con el fin de visualizar su efecto o sensibilidad en la demanda anual de energía.

Los resultados de demanda energética con variación de la orientación para el caso óptimo se muestran en el Cuadro 78:

Cuadro 78: Análisis de sensibilidad con variación de la orientación de la vivienda, caso óptimo.

| Orientación | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° | 225° | 270° | 315° |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Zona | Energía [kWh/m ² -año] | Energía [kWh/m ² -año] | Energía [kWh/m ² -año] | Energía [kWh/m ² -año] | Energía [kWh/m ² -año] | Energía [kWh/m ² -año] | Energía [kWh/m ² -año] | Energía [kWh/m ² -año] |
| 1 | 106,7 | 105,5 | 105 | 105,6 | 106,6 | 105,5 | 104,9 | 105,5 |
| 2 | 180,4 | 180 | 181,4 | 186,4 | 188,2 | 184,8 | 179,2 | 179 |
| 3 | 190,8 | 191,7 | 195,9 | 204,4 | 207,8 | 206,1 | 198,4 | 193,6 |
| 4 | 197,6 | 198,5 | 204,6 | 215,4 | 220,8 | 216,4 | 205,3 | 198,7 |
| 5 | 234,9 | 229,2 | 234,3 | 249,8 | 261,7 | 257,6 | 245,9 | 239,3 |
| 6 | 259,4 | 255,1 | 260,7 | 273,4 | 282,2 | 278,3 | 268,8 | 263 |
| 7 | 413,9 | 411,5 | 412,2 | 412,6 | 413,9 | 411,4 | 412,1 | 412,6 |

Análogamente, en el Cuadro 79 se muestran los resultados de demanda energética con variación de la orientación para el caso desfavorable:

Cuadro 79: Análisis de sensibilidad con variación de la orientación de la vivienda, caso desfavorable.

| Orientación | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° | 225° | 270° | 315° |
|-------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Zona | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] |
| 1 | 120,1 | 118,4 | 117,4 | 118,4 | 119,5 | 118,7 | 118,4 | 119,4 |
| 2 | 214,7 | 212,7 | 211,7 | 214,4 | 215,7 | 214,3 | 212,7 | 214,2 |
| 3 | 211,1 | 210,6 | 211,5 | 214,4 | 215,5 | 215,4 | 213,4 | 212,5 |
| 4 | 225 | 223,9 | 226,4 | 231,3 | 233,2 | 231,8 | 228,3 | 226,7 |
| 5 | 259,1 | 254,8 | 257 | 265,5 | 272,2 | 269,4 | 263,5 | 260,9 |
| 6 | 273,8 | 269,3 | 274,7 | 287 | 295,5 | 291,8 | 283 | 277,5 |
| 7 | 417,2 | 420,8 | 438,6 | 453 | 461,8 | 455,7 | 442,7 | 425 |

De los 2 cuadros anteriores, se desprende que la orientación de la fachada con mayor cantidad de superficie vidriada no afecta significativamente en la demanda energética de esta vivienda social, obteniendo variaciones máximas por zona térmica de aproximadamente 14% para el caso óptimo (zona térmica 5) y de 10% para el caso desfavorable (zona térmica 7). Sin embargo, son variaciones similares a las encontradas en estudios de la misma índole, y por lo tanto, esperables. En el Cuadro 80 aparecen las variaciones máximas en la demanda energética asociadas a la orientación por zona térmica, para ambos casos de análisis:

Cuadro 80: Variación máxima en demanda energética, sensibilidad en orientación de la vivienda.

| Zona | Variación máxima en demanda energética por orientación [%] | |
|------|--|-------------------|
| | Caso óptimo | Caso desfavorable |
| 1 | 1,7 | 2,3 |
| 2 | 5,1 | 1,9 |
| 3 | 8,9 | 2,3 |
| 4 | 11,7 | 4,2 |
| 5 | 14,2 | 6,8 |
| 6 | 10,6 | 9,7 |
| 7 | 0,6 | 10,7 |

Se puede observar que en el caso óptimo se obtienen las menores demandas de energía en las orientaciones 0° Norte y 45° Noroeste, lo cual concuerda con el supuesto inicial de considerar la orientación 0° Norte como la de menor demanda energética para todas las zonas térmicas. Análogamente en el caso desfavorable se encuentran aproximadamente las mayores demandas energéticas en la orientación 180° Sur, reafirmando el supuesto inicial.

Otro tema a destacar de los cuadros anteriores es el hecho que para las zonas térmicas menores (sobre todo la zona térmica 1) no influye tanto la orientación de la fachada más vidriada de la vivienda como en las zonas térmicas mayores (sobre todo zona térmica 7). Esto no se observa en el caso en que la vivienda no posea superficie vidriada, dando a entender la gran influencia que tienen las ventanas en la vivienda en la transferencia de calor entre el exterior y el interior.

5.2 Modificación y análisis de transmitancias térmicas de la envolvente

En esta sección se modifican las transmitancias térmicas de la envolvente de la vivienda en las zonas térmicas críticas, es decir, que no siguen el patrón de aumento en la energía a medida que aumenta la zonificación térmica, disminuyendo el valor de la transmitancia térmica (siendo más exigente) con respecto al valor actual de la Reglamentación. Se realiza un análisis similar al expuesto en el Capítulo 3, sección 3.2 Cálculo de energía mediante Software, mediante otra simulación, pero esta vez variando la transmitancia térmica de la envolvente de la vivienda, con el fin de obtener el patrón creciente en la demanda de energía para cada zona térmica, para luego eventualmente recomendar un nuevo valor de transmitancia térmica para la zona crítica. Por simplicidad, se escoge modelar sólo un sistema de calefacción: estufa a parafina.

Para realizar este análisis, se reducen las transmitancias térmicas de pisos ventilados, muros y techumbre de una misma zona térmica en un porcentaje con respecto al análisis inicial expuesto en el Capítulo 3, sección 3.2 Cálculo de energía mediante Software. A partir del Cuadro 66 y del Cuadro 67 (casos óptimo y desfavorable de modelación mediante Software) como también del Cuadro 64 (caso desfavorable de modelación teórica), se determina que la zona crítica es la 2, ya que su demanda se eleva levemente por sobre las de las zonas térmicas vecinas. Notar que eventualmente se podría aumentar esta energía en algunas zonas térmicas para visualizar mejor la tendencia creciente, pero en dicho caso se estaría aumentando el valor de las transmitancias térmicas (o disminuyendo el valor de las resistencias térmicas de la envolvente), lo cual supone una reducción en exigencia de ellas con respecto a la Reglamentación Térmica actual.

En el Cuadro 81 aparecen las características de las distintas soluciones constructivas utilizadas en esta modelación, para la modificación de la transmitancia térmica de la zona térmica 2:

Cuadro 81: Características de soluciones constructivas para la modificación de la transmitancia térmica.

| Soluciones constructivas | Material capas | Espesor [m] | U total [W/m ² K] | Conductividad [W/mK] | Calor específico [J/kgK] | Densidad [kg/m ³] |
|--------------------------|-----------------------|-------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| MuroZT2 U-30% | - OSB | 0,02 | 2,1 | 0,13 | 1700 | 650 |
| | - Standard insulation | 0,0061 | | 0,04 | 840 | 12 |
| MuroZT2 U-40% | - OSB | 0,02 | 1,8 | 0,13 | 1700 | 650 |
| | - Standard insulation | 0,0093 | | 0,04 | 840 | 12 |
| MuroZT2 U-50% | - OSB | 0,02 | 1,5 | 0,13 | 1700 | 650 |
| | - Standard insulation | 0,0137 | | 0,04 | 840 | 12 |
| TechoZT2 U-30% | - Clay tile (roof) | 0,15 | 0,42 | 1 | 800 | 2000 |
| | - Standard insulation | 0,0775 | | 0,04 | 840 | 12 |
| | - OSB | 0,02 | | 0,13 | 1700 | 650 |
| TechoZT2 U-40% | - Clay tile (roof) | 0,15 | 0,36 | 1 | 800 | 2000 |
| | - Standard insulation | 0,0935 | | 0,04 | 840 | 12 |
| | - OSB | 0,02 | | 0,13 | 1700 | 650 |
| TechoZT2 U-50% | - Clay tile (roof) | 0,15 | 0,3 | 1 | 800 | 2000 |
| | - Standard insulation | 0,115 | | 0,04 | 840 | 12 |
| | - OSB | 0,02 | | 0,13 | 1700 | 650 |
| PisoZT2 U-30% | Aerated concrete slab | 0,229 | 0,609 | 0,16 | 840 | 500 |
| PisoZT2 U-40% | Aerated concrete slab | 0,273 | 0,522 | 0,16 | 840 | 500 |
| PisoZT2 U-50% | Aerated concrete slab | 0,334 | 0,435 | 0,16 | 840 | 500 |

En el Cuadro 82 (caso óptimo) y Cuadro 83 (caso desfavorable) se muestran las cantidades de energía demandada por la vivienda a medida que se disminuye la transmitancia térmica tanto de muros, pisos ventilados y techumbre en un mismo porcentaje, cuyos valores iniciales (Modificación U de 0%) son los normados por la Reglamentación Térmica actual:

Cuadro 82: Análisis de modificación de transmitancia térmica para la zona térmica 2, caso óptimo.

| Modificación U [%] | 0% | -30% | -40% | -50% |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Zona | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] |
| 2 | 180,4 | 150 | 139 | 128 |

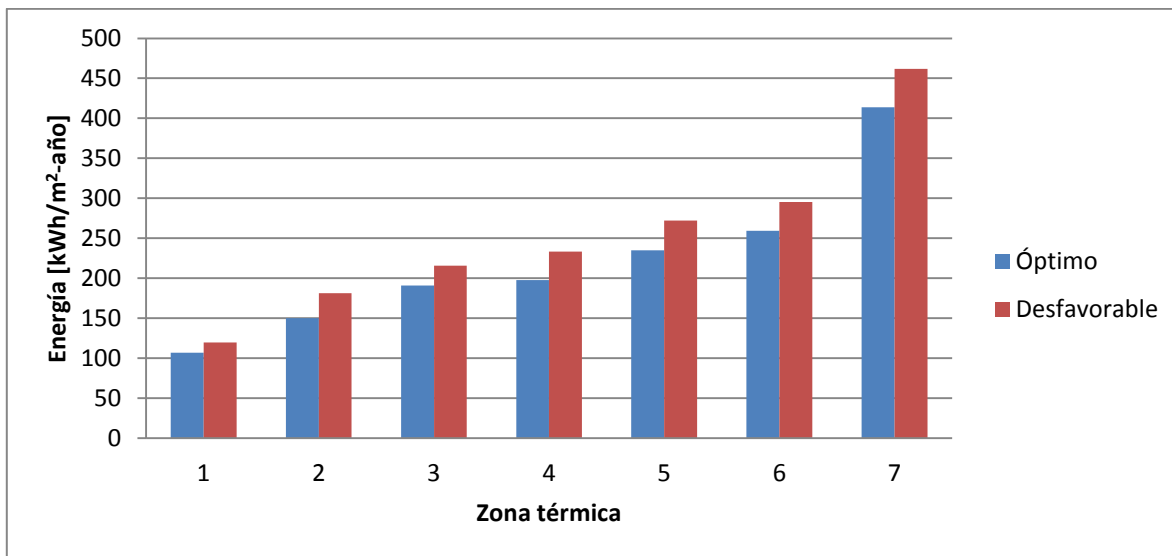
Cuadro 83: Análisis de modificación de transmitancia térmica para la zona térmica 2, caso desfavorable.

| Modificación U [%] | 0% | -30% | -40% | -50% |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Zona | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] | Energía [kWh/m ² año] |
| 2 | 215,7 | 181,1 | 168,3 | 155,1 |

Dado que la zona térmica 2 necesita una disminución en la energía para obtener la tendencia deseada, de los 2 cuadros anteriores se escoge disminuirla un 30%, dejando el valor de demanda energética en esta zona en 150 kWh/m²-año y 181,1 kWh/m²-año para los casos óptimo y desfavorable, respectivamente.

Al incorporar esta modificación de la transmitancia térmica a los cálculos obtenidos mediante Software, se obtiene la demanda de energía modificada, para el sistema de calefacción a estufa a parafina, tal como se muestra en el Cuadro 84:

Cuadro 84: Gráfico de demanda energética modificada de la vivienda mediante Software.

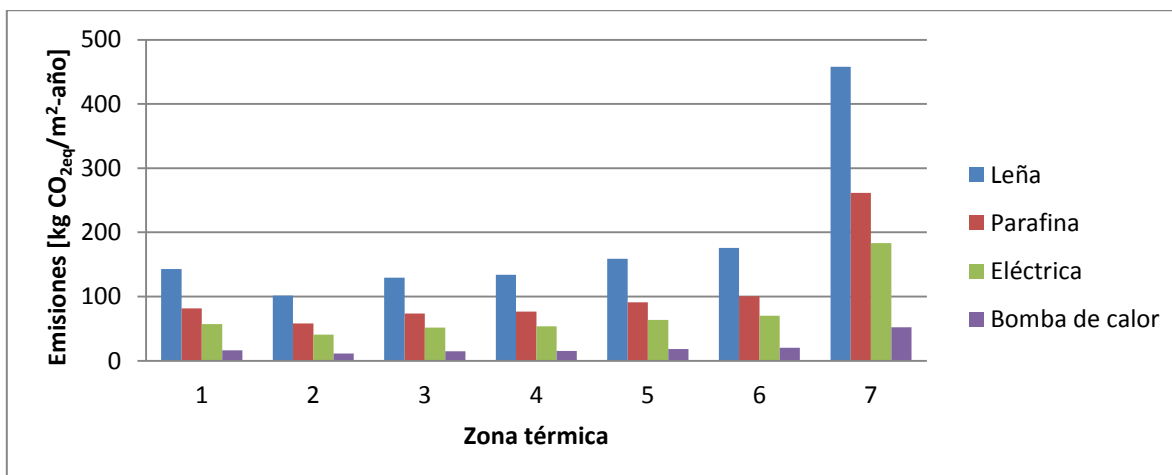


Luego con la demanda energética modificada, se obtienen las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto para el caso óptimo (Cuadro 85) como desfavorable (Cuadro 87), con sus respectivos gráficos (Cuadro 86 y Cuadro 88):

Cuadro 85: Emisiones de efecto invernadero mediante Software caso óptimo, zona térmica 2 modificada.

| Zona térmica | FE [kg CO _{2eq} /kWh] | Tipo de calefacción | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|--|---|--|---|--|---|--|---|
| | | Leña | | Estufa a parafina | | Estufa eléctrica | | Bomba de calor | |
| | | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] |
| 1 | 0,7643 | 186,7 | 142,7 | 106,7 | 81,6 | 74,7 | 57,1 | 21,3 | 16,3 |
| 2 | 0,387 | 262,5 | 101,6 | 150 | 58,1 | 105 | 40,6 | 29,9 | 11,6 |
| 3 | 0,387 | 334 | 129,3 | 190,8 | 73,8 | 133,6 | 51,7 | 38,2 | 14,8 |
| 4 | 0,387 | 345,8 | 133,8 | 197,6 | 76,5 | 138,3 | 53,5 | 39,5 | 15,3 |
| 5 | 0,387 | 411,1 | 159,1 | 234,9 | 90,9 | 164,4 | 63,6 | 47 | 18,2 |
| 6 | 0,387 | 453,9 | 175,7 | 259,4 | 100,4 | 181,5 | 70,2 | 51,9 | 20,1 |
| 7 | 0,6321 | 724,4 | 457,9 | 413,9 | 261,6 | 289,7 | 183,1 | 82,8 | 52,3 |

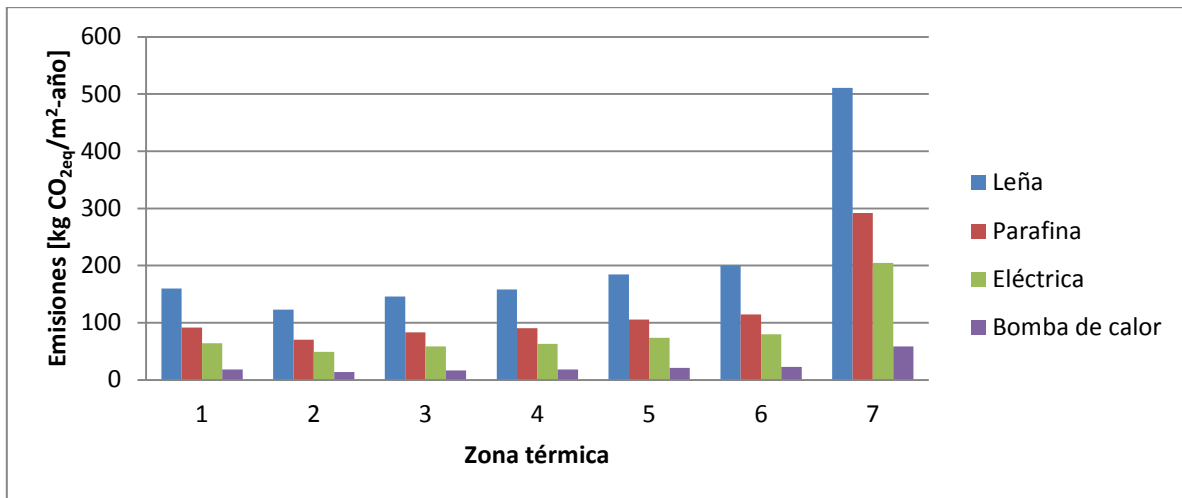
Cuadro 86: Gráfico de emisiones de efecto invernadero mediante Software caso óptimo, zona térmica 2 modificada.



Cuadro 87: Emisiones de efecto invernadero mediante Software caso desfavorable, zona térmica 2 modificada.

| Zona térmica | FE [kg CO _{2eq} /kWh] | Tipo de calefacción | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|--|---|--|---|--|---|--|---|
| | | Leña | | Estufa a parafina | | Estufa eléctrica | | Bomba de calor | |
| | | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] | Demanda energética [kWh/m ² -año] | Emisiones [kg CO _{2eq} /m ² -año] |
| 1 | 0,7643 | 209,1 | 159,8 | 119,5 | 91,3 | 83,6 | 63,9 | 23,9 | 18,3 |
| 2 | 0,387 | 316,7 | 122,6 | 181,1 | 70,1 | 126,8 | 49,1 | 36,3 | 14 |
| 3 | 0,387 | 377,2 | 146,0 | 215,5 | 83,4 | 150,9 | 58,4 | 43,1 | 16,7 |
| 4 | 0,387 | 408,1 | 157,9 | 233,2 | 90,2 | 163,2 | 63,2 | 46,7 | 18,1 |
| 5 | 0,387 | 476,3 | 184,3 | 272,2 | 105,3 | 190,5 | 73,7 | 54,5 | 21,1 |
| 6 | 0,387 | 517,1 | 200,1 | 295,5 | 114,4 | 206,8 | 80,0 | 59,1 | 22,9 |
| 7 | 0,6321 | 808,2 | 510,9 | 461,8 | 291,9 | 323,3 | 204,4 | 92,4 | 58,4 |

Cuadro 88: Gráfico de emisiones de efecto invernadero mediante Software caso desfavorable, zona térmica 2 modificada.



Según el Cuadro 85 y Cuadro 87, el promedio de demanda energética y emisiones de efecto invernadero para ambos casos utilizando calefacción a estufa eléctrica en Chile es de 166,6 kWh/m²-año y 79,5 kg CO_{2eq}/m²-año, respectivamente.

Finalmente, el Cuadro 88 es el que modificará a la Reglamentación Térmica, ya que se incluirá a mediano plazo indicando valores máximos de emisiones permitidas por zona térmica, para viviendas sociales o similares que utilizan como sistema de calefacción la leña, estufa a parafina, estufa eléctrica o una bomba de calor.

CAPÍTULO 6: COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

- a) Los efectos del cambio climático de origen antropogénico en Chile y en el mundo son una realidad innegable, los cuales irán provocando cada vez cambios más drásticos en el ambiente en el tiempo.
- b) En Chile, las normativas apuntan principalmente a la eficiencia energética, pero no directamente al cambio climático. Lo mismo ocurre con la Reglamentación Térmica.
- c) Para lograr disminuir las emisiones GEI que provocan el cambio climático en edificaciones debido a su uso, se debe procurar el uso de fuentes de calefacción amigables con el medioambiente, como por ejemplo estufas eléctricas, ya que el uso de una fuente u otra provoca cambios abruptos en estas emisiones.
- d) Las mayores pérdidas térmicas en una vivienda ocurren a través de su envolvente, situación que se puede ver agravada cuando la envolvente se humedece. Mientras que las mayores ganancias térmicas al interior de la vivienda ocurren mediante radiación solar a través de ventanas.
- e) Se prefiere utilizar ventanas de doble vidriado hermético en viviendas para aislarla del exterior y obtener menores demandas energéticas, con respecto a la utilización de vidriado simple.
- f) En relación a la orientación de las viviendas, efectivamente es preferible orientar las ventanas de una vivienda hacia el Norte, lo que hace disminuir la demanda energética, independiente de la localidad. Además, en el Norte del país no influye de forma notable la orientación de la fachada más vidriada, mientras que en las zonas central y sur se aprecian diferencias mayores.
- g) La utilización de leña para calefacción que se da principalmente en el Sur del país, es muy perjudicial para el cambio climático, debido a las altas emisiones de GEI asociadas, por lo que se recomienda disminuir su uso y buscar otras alternativas menos dañinas al medioambiente.

- h) Los valores de demanda energética para calefacción y emisiones GEI que fueron modeladas mediante Software en una vivienda social tipo en Chile, son 166,6 kWh/m²-año y 79,5 kg CO₂/m²-año, respectivamente. Para el caso teórico, estas cifras son de 219,7 kWh/m²-año y 104,7 kg CO₂/m²-año, respectivamente, valores aproximadamente un 30% mayores que los anteriores.
- i) El factor de emisión para el Sistema Eléctrico de Magallanes en el año 2013 fue de 0,6321 kg CO₂/kWh.
- j) Si bien las transmitancias térmicas asociadas a muros, pisos y techos de la zona térmica 2 fueron disminuidas en un 30% con respecto a los valores actuales mediante la modificación de la demanda energética de dicha zona, no se puede recomendar directamente la modificación de ellas, ya que esto podría mejorarse con una nueva zonificación térmica. Esto es parte de la segunda sugerencia de la Reglamentación Térmica, mostrada en el Cuadro 89, en donde se pueden encontrar además otras sugerencias de mejoras:

Cuadro 89: Sugerencias de mejoras en la Reglamentación Térmica actual.

| Reglamentación Térmica actual | Acción | Sugerencia |
|--|-----------|---|
| Rangos de temperatura de grados-día para las 7 zonas térmicas incluidos en los mapas de zonificación térmica | Eliminar | Incorporar un Anexo con tablas de grados-día de distintas localidades de todo el país calculadas con distintas temperaturas base, ya que los rangos actuales son muy amplios y no representan la realidad de cada localidad en particular, haciendo que éstos sean poco útiles a la práctica. |
| Zonificación térmica de zonas 1 a 7 | Revisar | Revisar zonificación térmica actual y poner especial atención a la zona térmica 2. Eventualmente, se pueden crear mayor cantidad de zonas. |
| Tabla 1 de transmitancias y resistencias térmicas de zonas térmicas en muros, techumbre y pisos ventilados | Modificar | Incorporar exigencias para pisos contra terreno, ya que actualmente no existen. |
| (Nuevo) | Agregar | Acción a corto plazo: Hacer que las viviendas reporten su demanda energética esperada y sus correspondientes emisiones GEI mediante un factor de emisión adecuado y cumplir con el umbral de cambio climático (ver Cuadro 88 del Capítulo 5). |

BIBLIOGRAFÍA

- [1] El impacto del cambio climático, irreversible: 5° Informe del IPCC 2014
<http://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico-5-informe-ipcc>
- [2] Ministerio del Medio Ambiente
Adaptación al cambio climático, estrategias y políticas chilenas
http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55412_AdpatacionCC_EstrategiaPCH.pdf
Oficina de cambio climático, 2013.
- [3] Hospital Pablo Tobón Uribe
Memoria de sostenibilidad, 2012
- [4] eValua
Hacia el edificio o vivienda energéticamente nulo, 2014
- [5] Equipo Plataforma Urbana
Implementarán sistema de sello energético para casas, Marzo 2012
<http://www.plataformaurbana.cl/archive/2012/03/19/implementaran-sistema-de-sello-energetico-para-casas/>
- [6] Agencia Chilena de Eficiencia Energética
Presentación Calificación energética de viviendas
Construcción Sustentable
- [7] Bustamante G., Waldo
Guía de diseño para la Eficiencia Energética en la vivienda social.
- [8] SERVIU del Maule
Catálogo de Proyectos Viviendas Tipo.
<http://www.serviu7.cl/catalogo/index.php>
- [9] Pizzutti Dos Santos, Joaquim
The effects of solar orientation in energy consumption for climate office building located in the city of Santa María RS.
- [10] Reyes Gower, Joaquín
Contraste de las capacidades de diferentes programas de modelamiento térmico, a partir de la modelación del edificio ubicado en Blanco Encalada 2120.

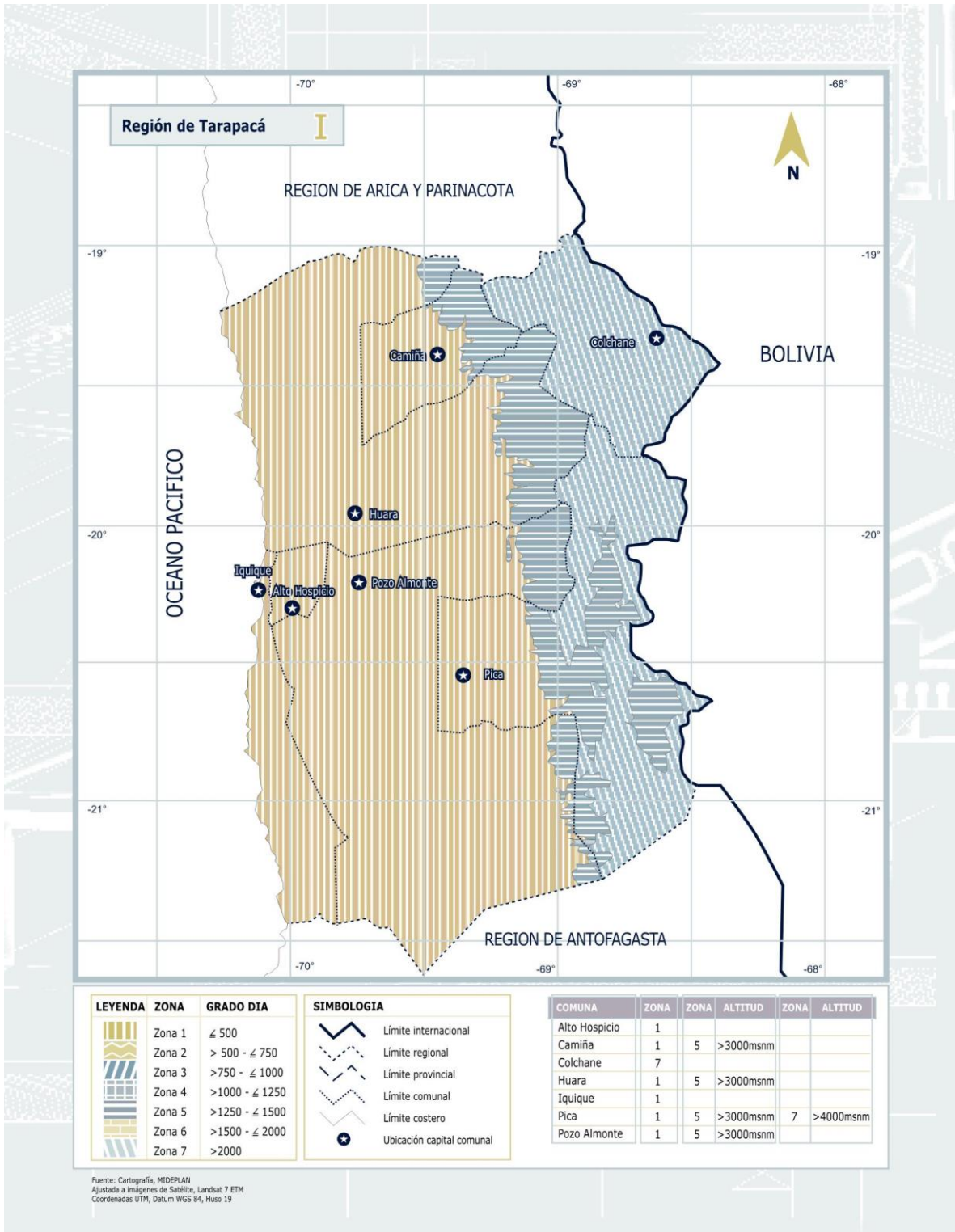
- [11] Donoso Ramos, Nicolás
Análisis técnico-económico en mejoras de eficiencia energética para viviendas de precio entre 1000-3000 UF.
- [12] García-Alvarado, R., González, A., Bustamante, W., Bobadilla, A., Muñoz, C.
Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares – Informes de la Construcción.
<http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.108>
- [13] Ministerio de Energía
Balance Nacional de Energía BNE, 2012
- [14] Ministerio de Energía
Agenda de Energía 2014
<http://www.amchamchile.cl/sites/default/files/AgendaEnergia.pdf>
- [15] Wikipedia
Cambio Climático
http://es.wikipedia.org/wiki/Cambio_clim%C3%A1tico
- [16] Wikipedia
Calentamiento global
http://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global
- [17] Higgins, A., Foliente, G., McNamara, C.
Modelling intervention options to reduce GHG emissions in housing stock – A diffusion approach, 2010
- [18] Siller, T., Kost, M., Imboden, D.
Long-term energy savings and greenhouse gas emission reductions in the Swiss residential sector, 2006
- [19] Organización Internacional de Normalización, ISO
www.iso.org

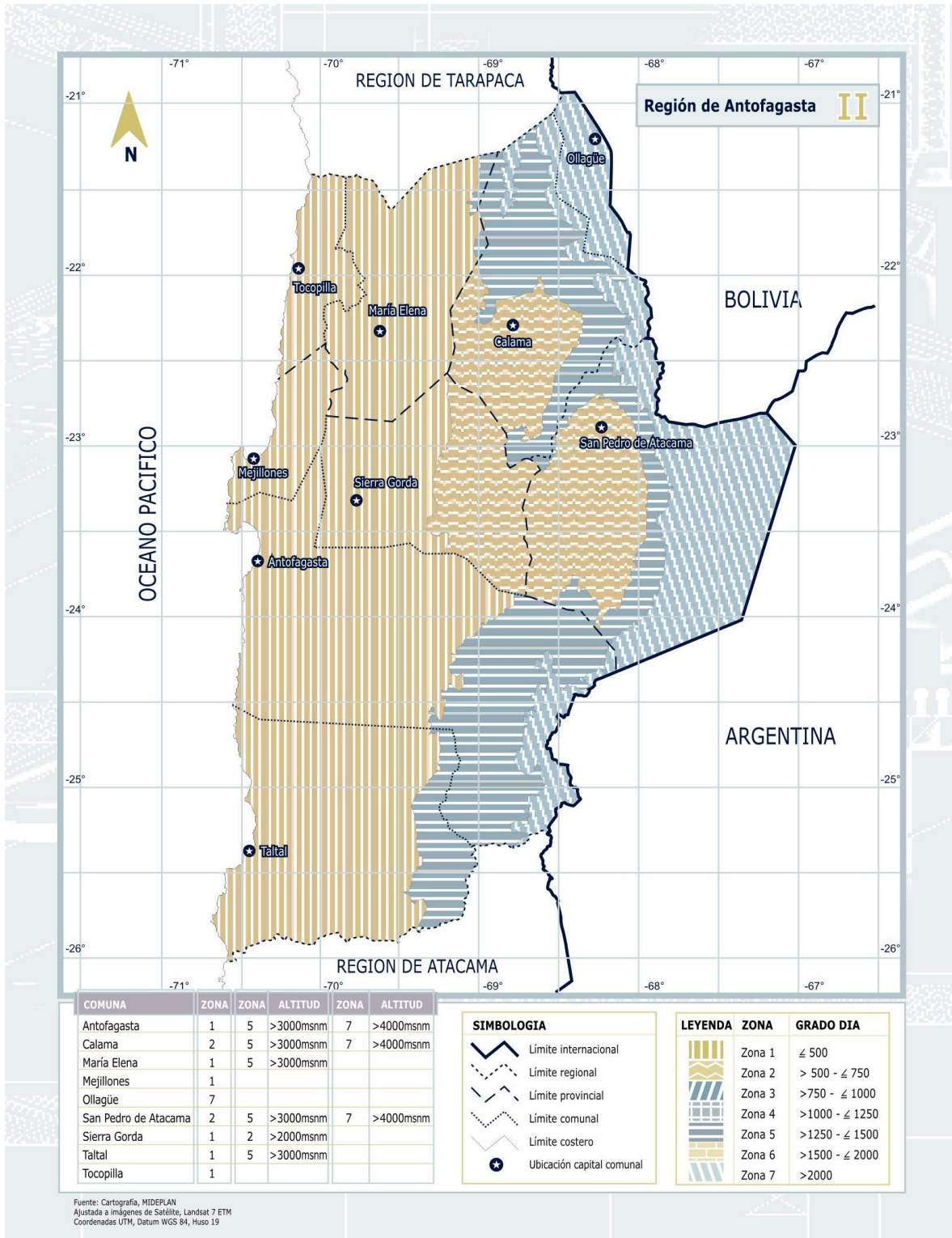
- [20] Jadrijevic, Maritza
Consulta Ciudadana Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
http://www.mma.gob.cl/1304/articles-55412_PlanNacional_AdaptacionalCC.pdf
Ministerio del Medio Ambiente
Mayo 2013
- [21] Cabello Poblete, Ángelo
Temperaturas y grados-día de ciudades de Chile para el cálculo de pérdidas térmicas con fines de ahorro energético en edificios habitacionales.
- [22] Ministerio de Energía
Agenda de Energía 2014
<http://www.amchamchile.cl/sites/default/files/AgendaEnergia.pdf>
- [23] MINVU
Manual de Reglamentación Térmica: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones – Artículo 4.1.10.
- [24] CNE/PNUD/UTFSM
Irradiancia Solar en Territorios de la República de Chile.
- [25] Agencia Chilena de Eficiencia Energética
Factores de emisión SIC y SING para proyectos MDL
<http://www.acee.cl/recursos/herramientas-interactivas/factores-de-emisi%C3%B3n-sic-y-sing-para-proyectos-mdl>
- [26] Ministerio de Energía
Huella de carbono – Factores de emisión.
<http://huelladecarbono.minenergia.cl>
- [27] Central Energía
Capacidad instalada Sistema Magallanes.
<http://www.centralenergia.cl/centrales/capacidad-instalada-magallanes>
- [28] MINVU
Calificación Energética de viviendas.
- [29] Ministerio de Energía
Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020.

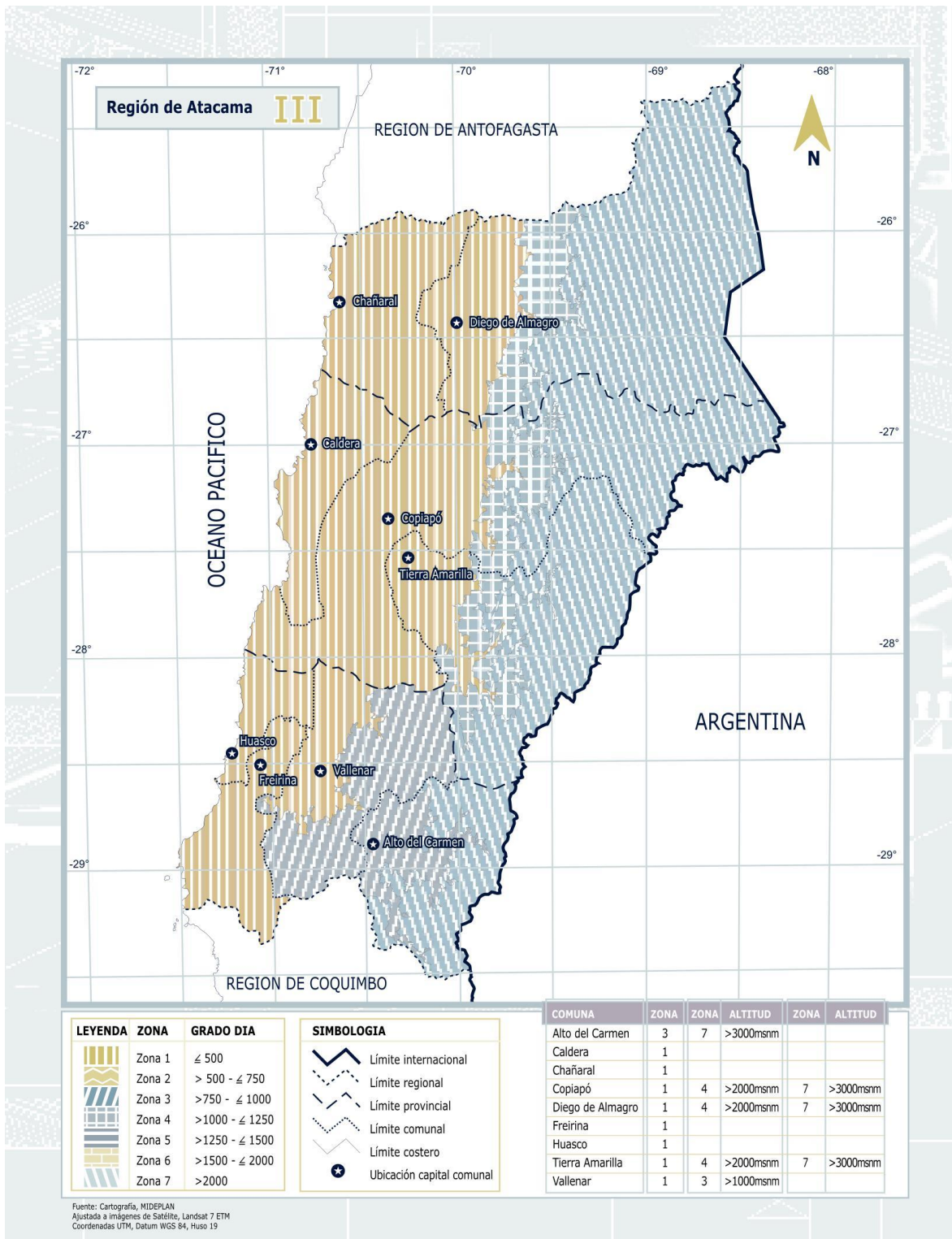
- [30] Rubio de Urquía, Javier
Las negociaciones internacionales sobre cambio climático.
- [31] Ministerio del Medio Ambiente
Mejoramiento térmico de las viviendas y su aporte a la descontaminación atmosférica.
- [32] Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC)
<http://www.ipcc.ch/>
- [33] NCh1079.Of77
Arquitectura y construcción – Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico.
- [34] NCh853.Of2007
Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.
- [35] NCh1960.Of89
Aislación térmica – Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas.
- [36] Ministerio de Energía
Explorador de energía eólica
walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2
- [37] *ASHRAE Handbook 2001 fundamentals.*
- [38] *ASHRAE Handbook 1997 fundamentals.*
- [39] *ASHRAE Handbook 2004
Systems and Equipment Volume*
- [40] Comunicación personal
Escalona K., Diego.
Ingeniero de proyectos.
Unidad Gestión Energética y Ambiental, IDIEM.

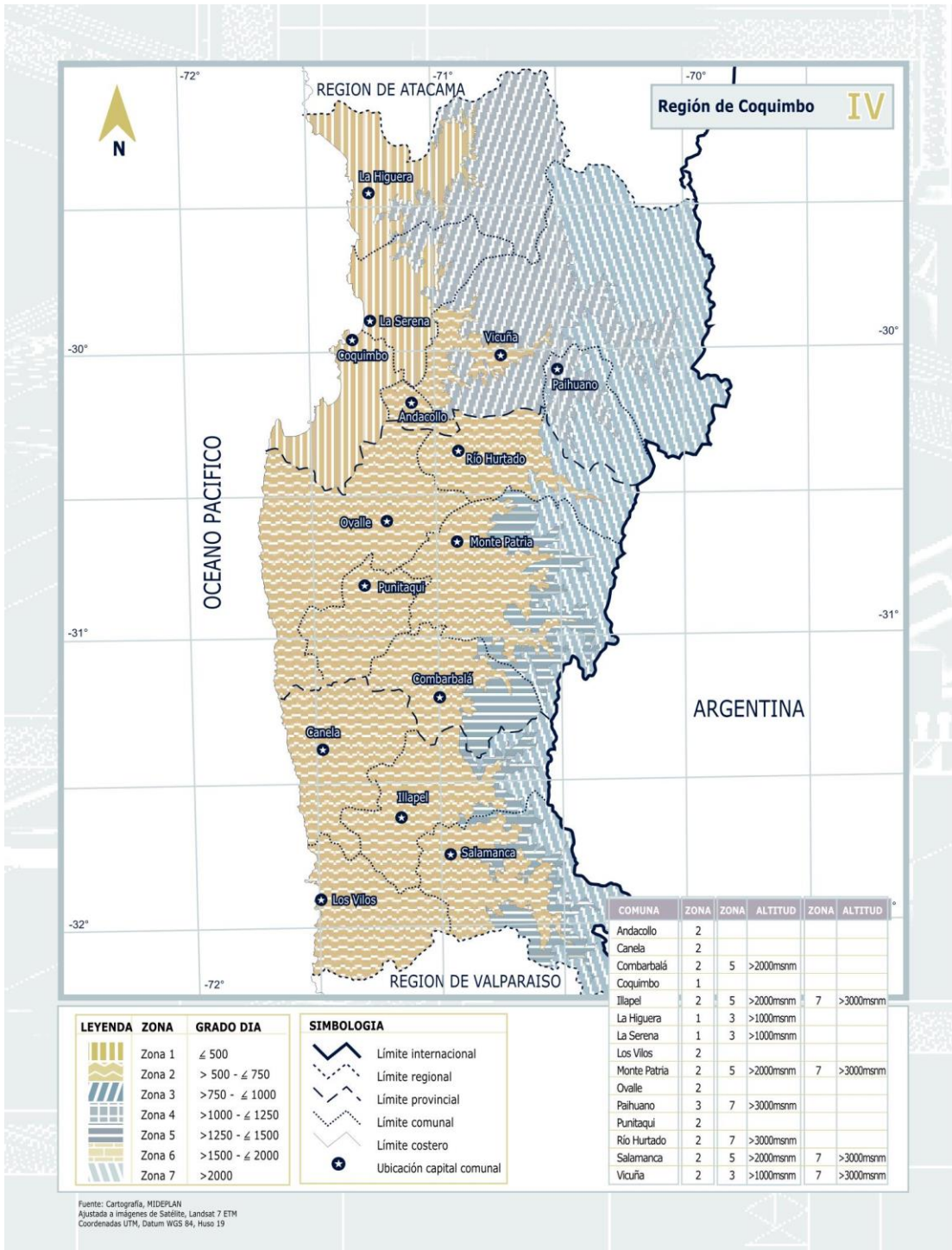
ANEXOS

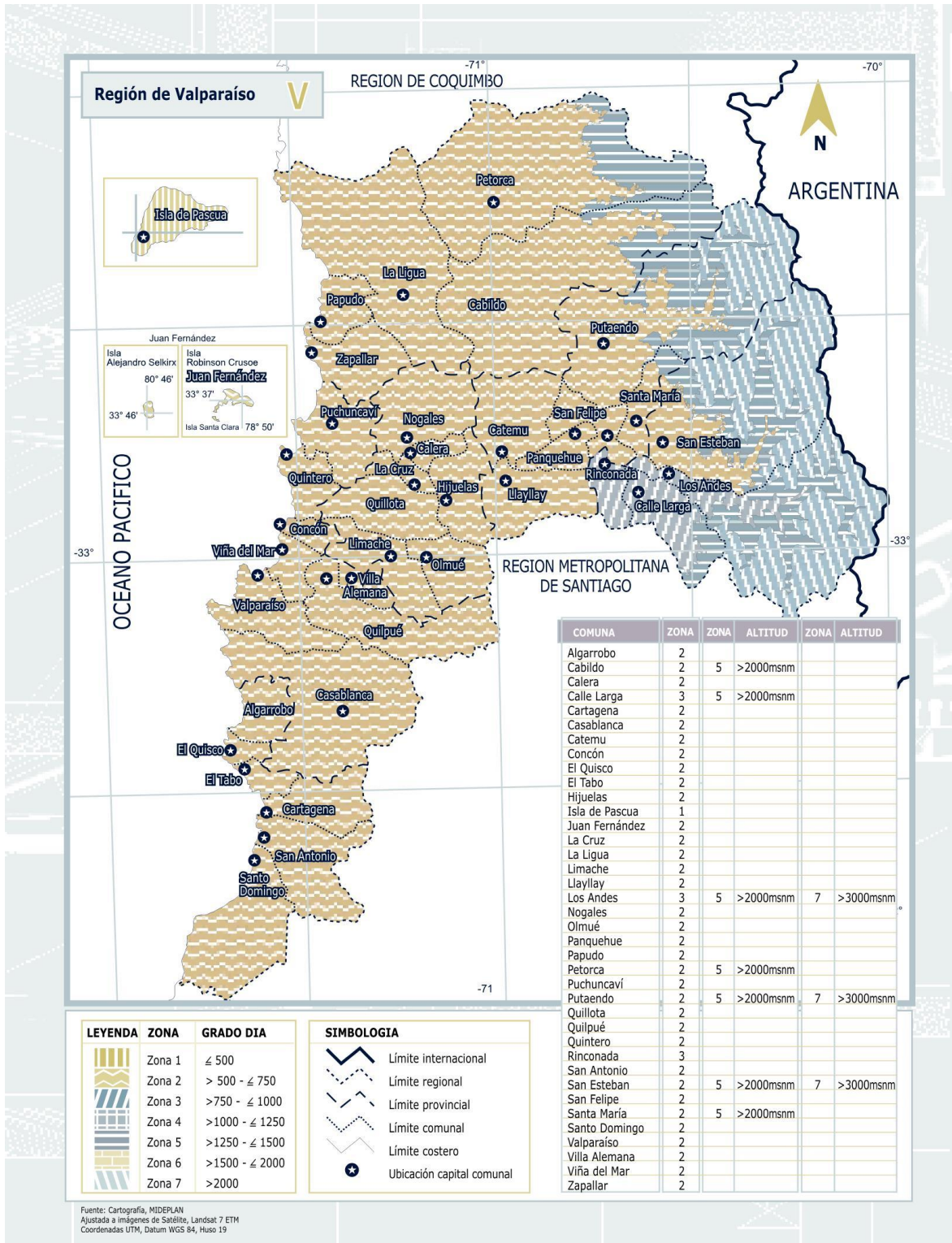
Anexo A

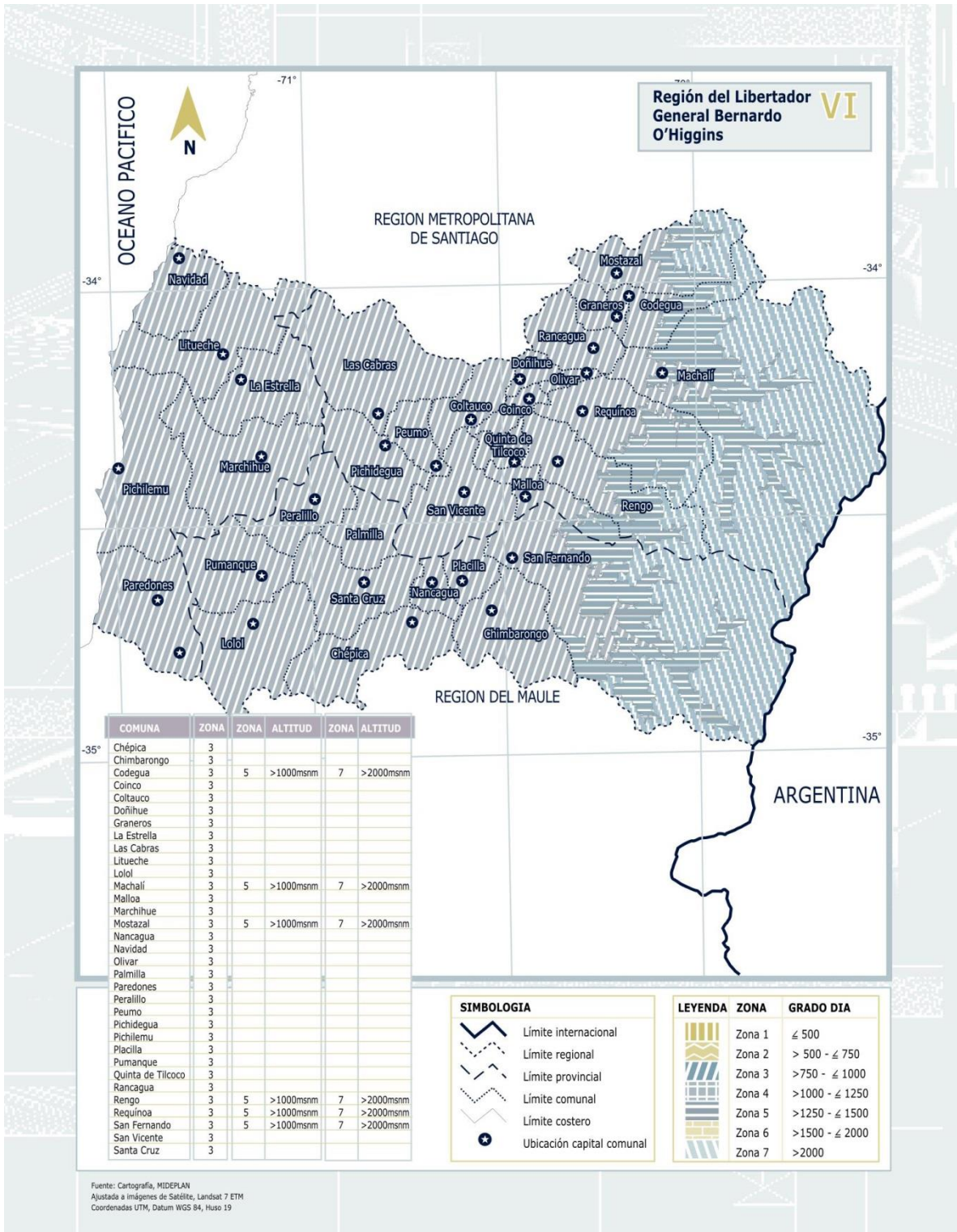


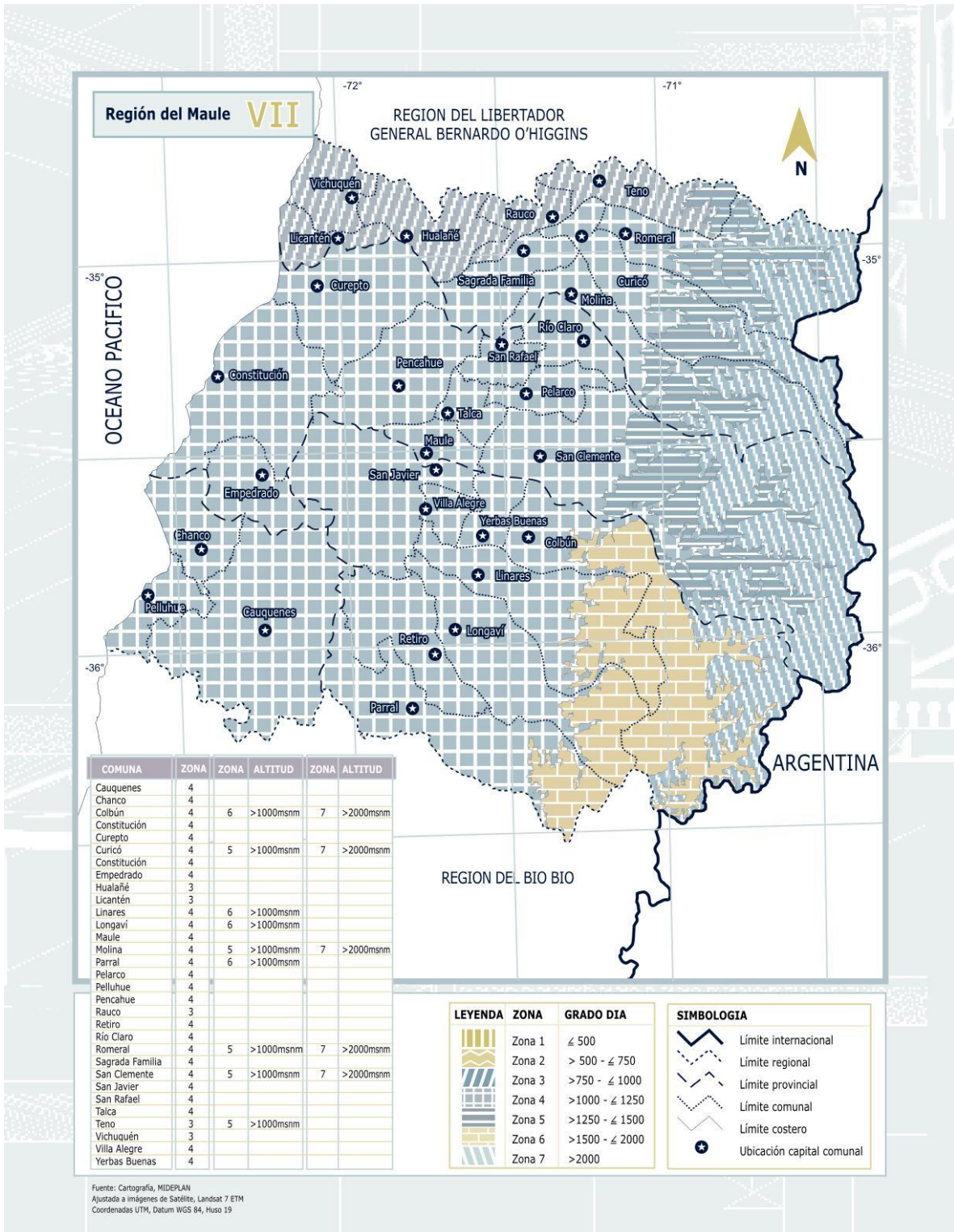


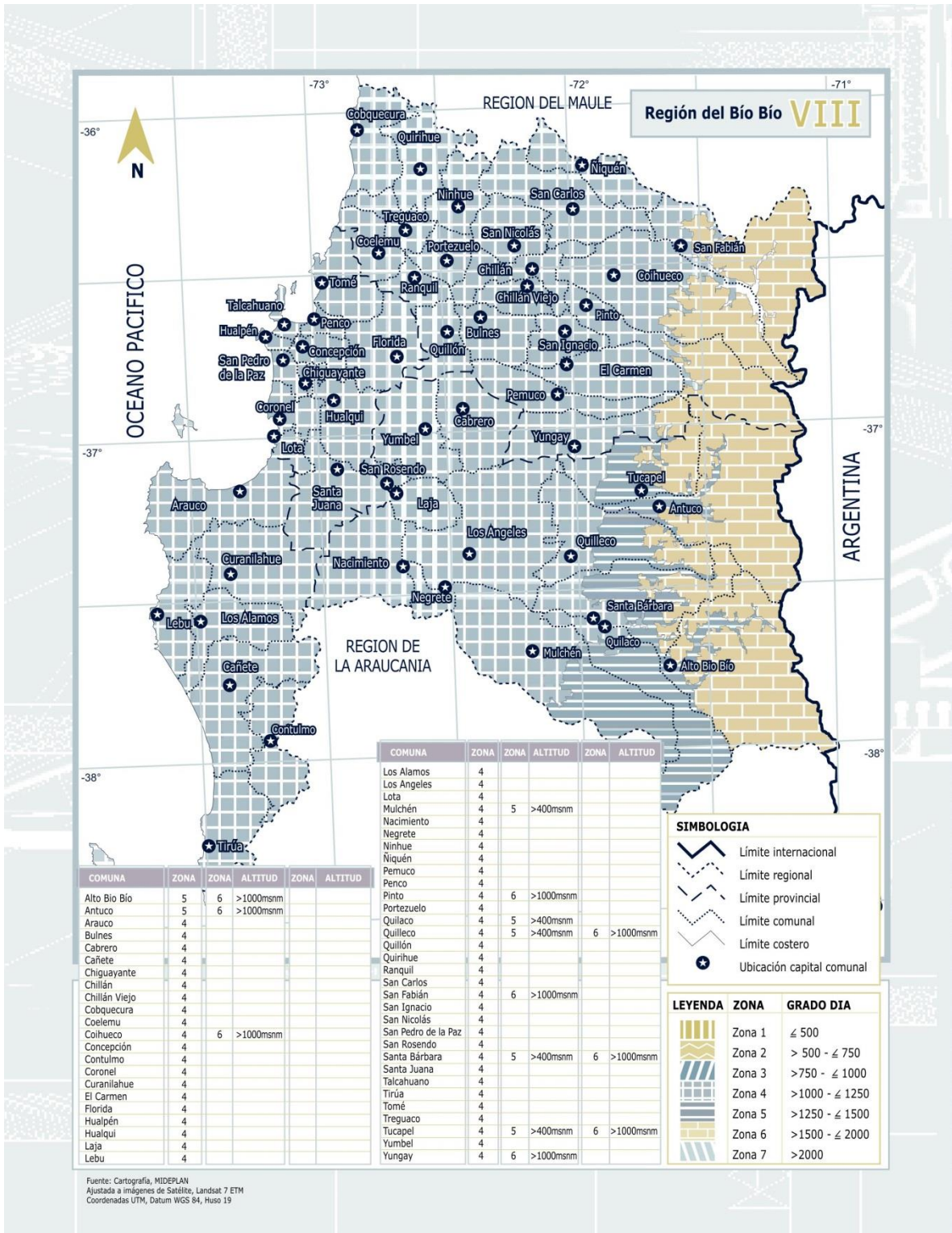


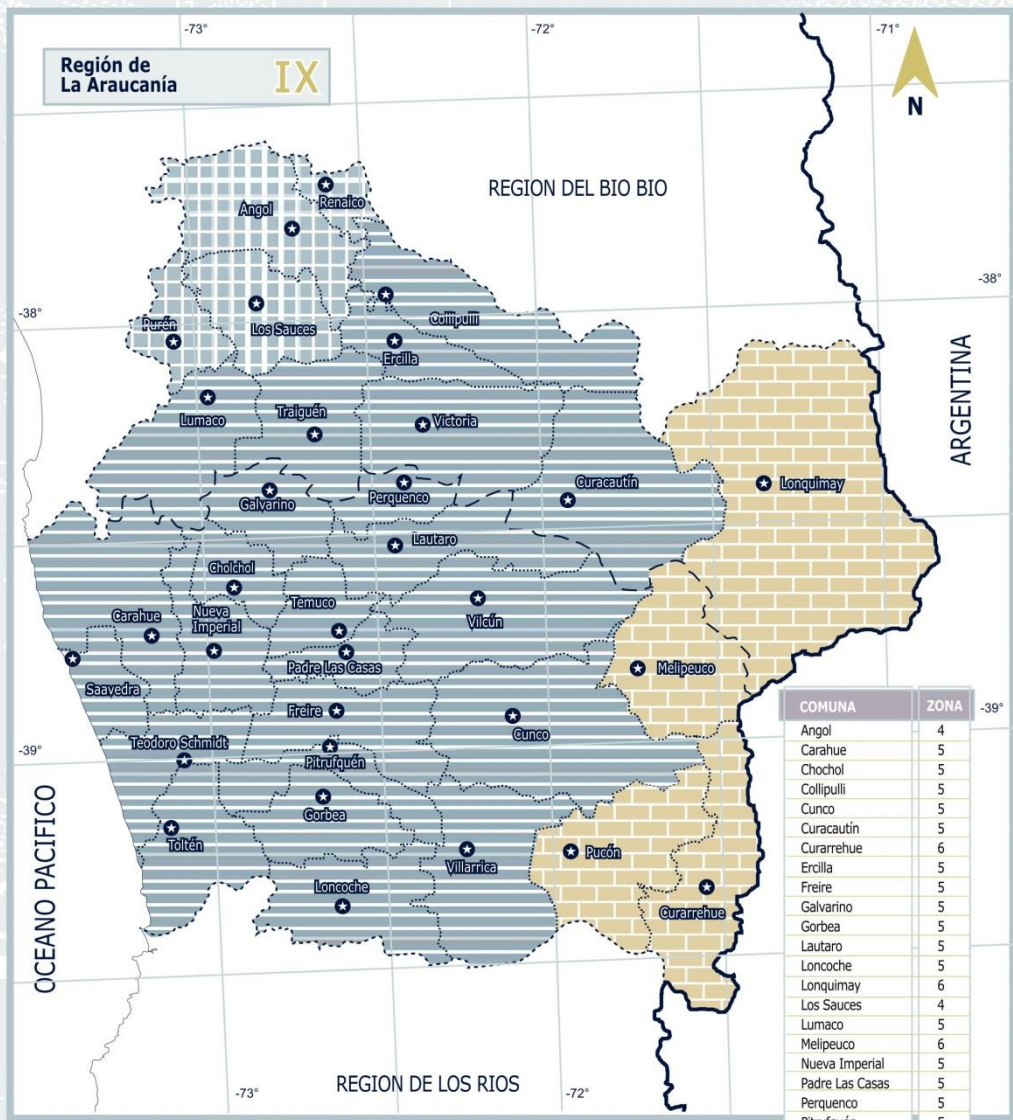








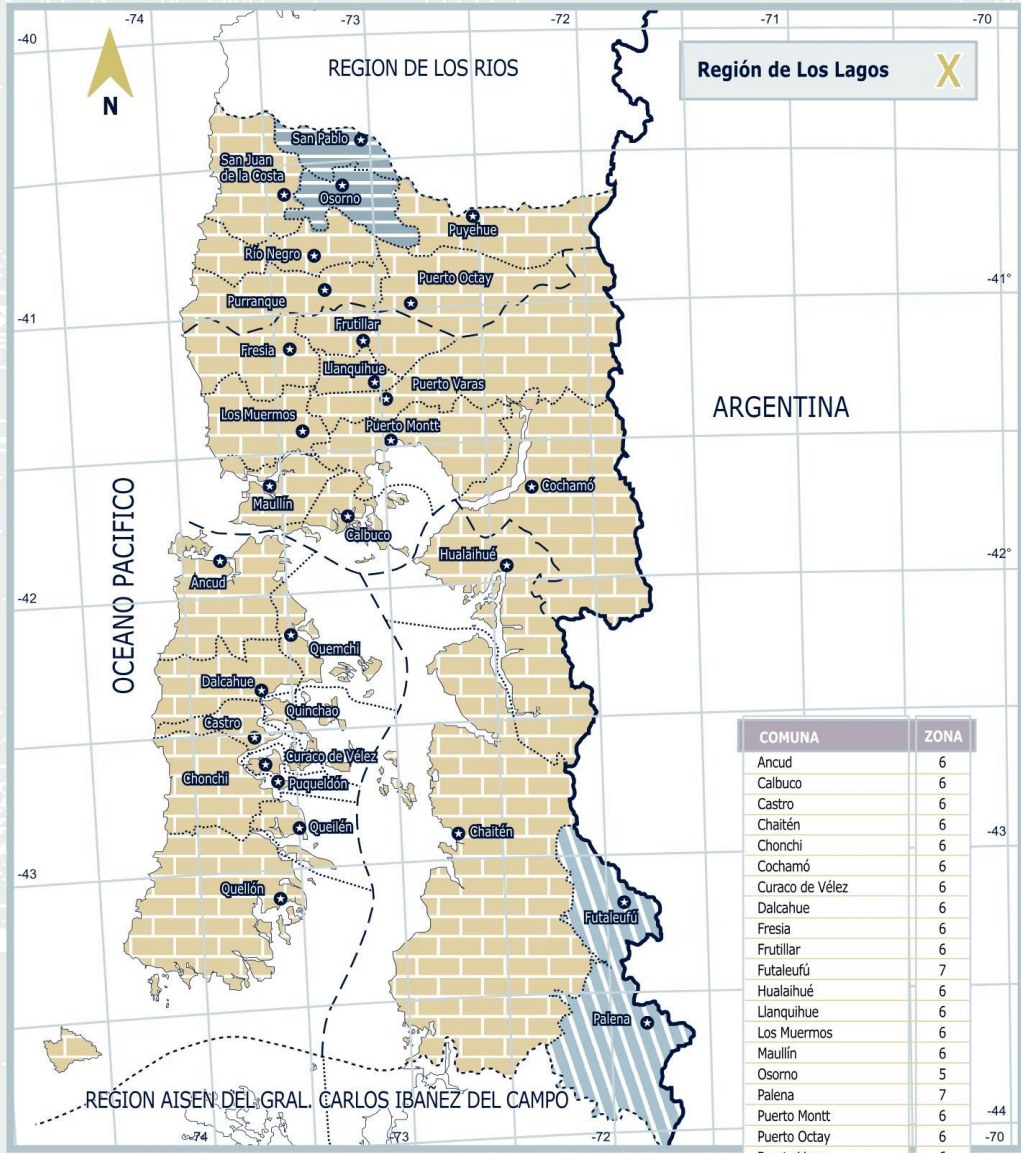




| COMUNA | ZONA |
|-----------------|------|
| Angol | 4 |
| Carahue | 5 |
| Chochol | 5 |
| Collipulli | 5 |
| Curacautín | 5 |
| Curarrehue | 6 |
| Ercilla | 5 |
| Freire | 5 |
| Galvarino | 5 |
| Gorbea | 5 |
| Lautaro | 5 |
| Loncoche | 5 |
| Lonquimay | 6 |
| Los Sauces | 4 |
| Lumaco | 5 |
| Melipeuco | 6 |
| Nueva Imperial | 5 |
| Padre Las Casas | 5 |
| Perquenco | 5 |
| Pitrufquén | 5 |
| Pucón | 6 |
| Purén | 4 |
| Renaico | 4 |
| Saavedra | 5 |
| Temuco | 5 |
| Teodoro Schmidt | 5 |
| Toltén | 5 |
| Traiguén | 5 |
| Victoria | 5 |
| Vilcún | 5 |
| Villarrica | 5 |

| LEYENDA | ZONA | GRADO DIA | SIMBOLOGIA |
|---------|--------|-----------------|------------|
| | Zona 1 | ≤ 500 | |
| | Zona 2 | > 500 - ≤ 750 | |
| | Zona 3 | > 750 - ≤ 1000 | |
| | Zona 4 | > 1000 - ≤ 1250 | |
| | Zona 5 | > 1250 - ≤ 1500 | |
| | Zona 6 | > 1500 - ≤ 2000 | |
| | Zona 7 | > 2000 | |

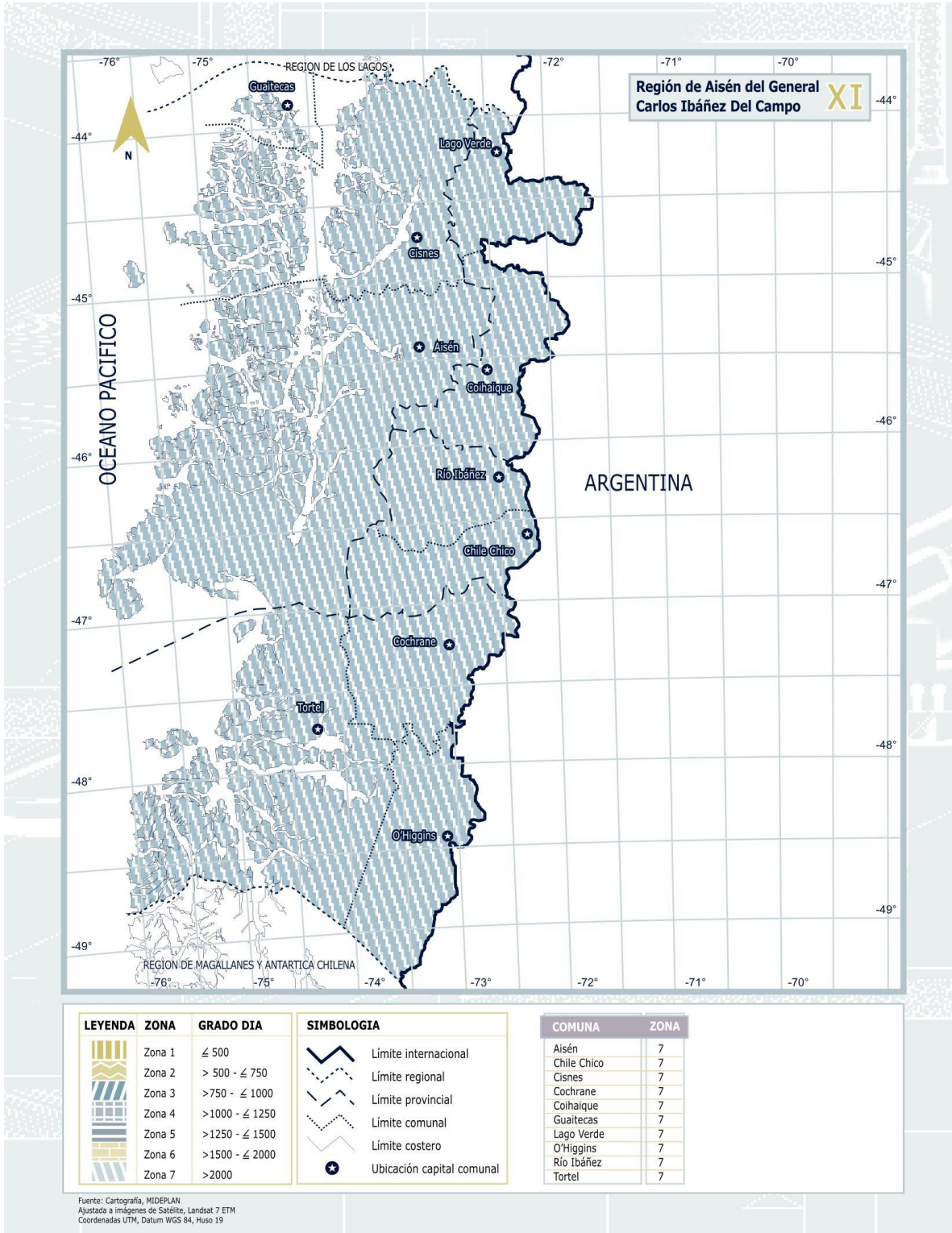
Fuente: Cartografía, MIDEPLAN
 Ajustada a imágenes de Satélite, Landsat 7 ETM
 Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Huso 19

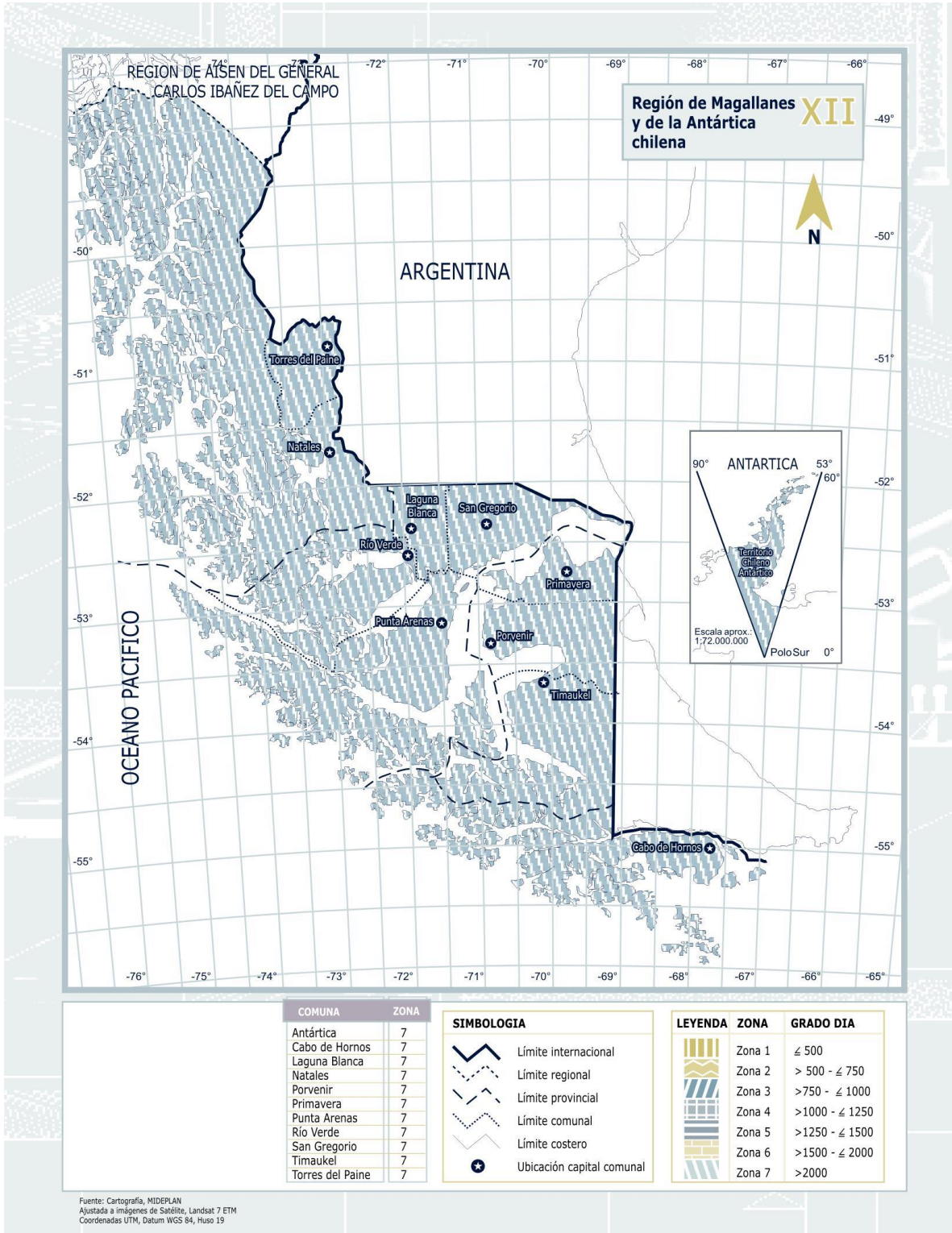


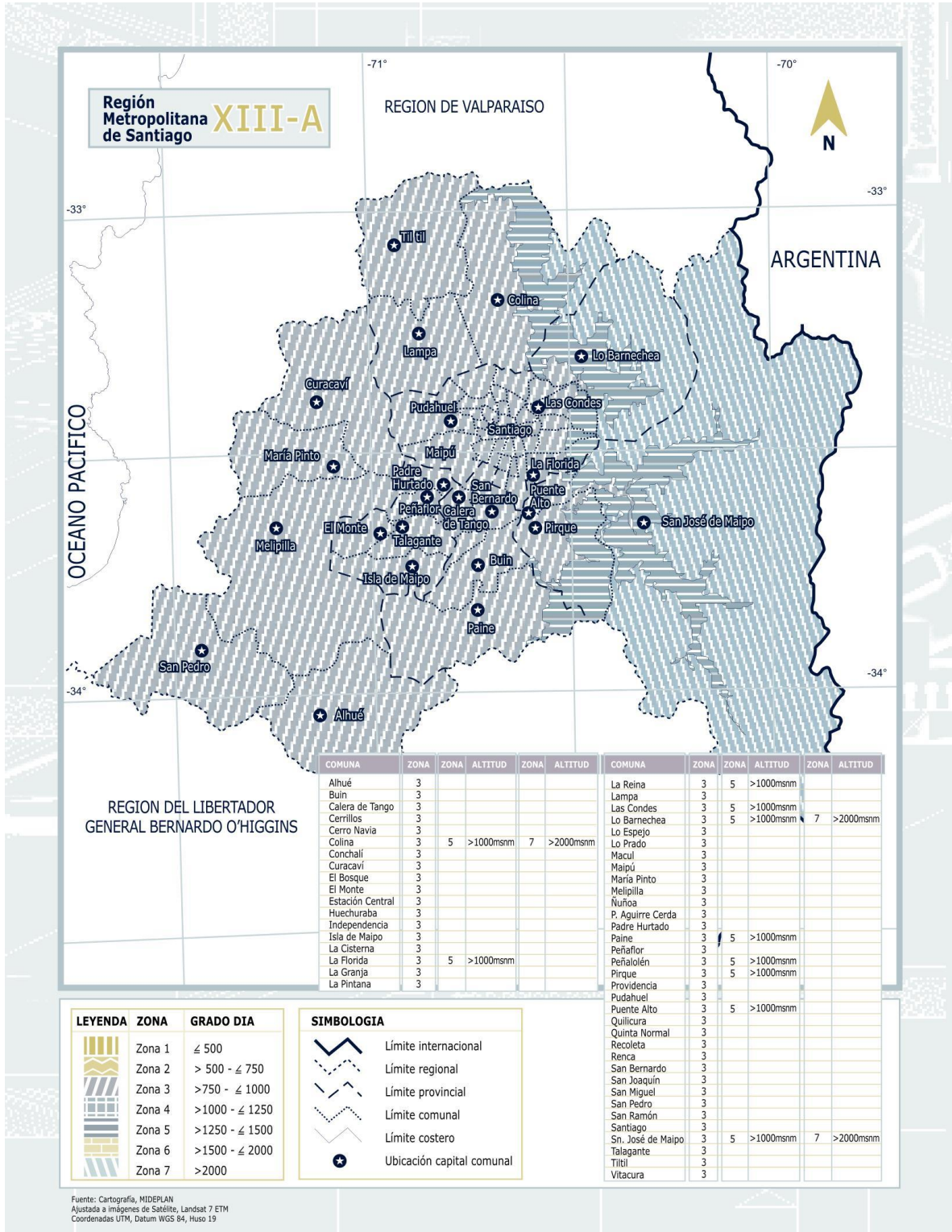
| COMUNA | ZONA |
|----------------------|------|
| Ancud | 6 |
| Calbuco | 6 |
| Castro | 6 |
| Chaitén | 6 |
| Chonchi | 6 |
| Cochamó | 6 |
| Curaco de Vélez | 6 |
| Dalcahue | 6 |
| Fresia | 6 |
| Frutillar | 6 |
| Futaleufú | 7 |
| Hualaihué | 6 |
| Llanquihue | 6 |
| Los Muermos | 6 |
| Mauilín | 6 |
| Osorno | 5 |
| Palena | 7 |
| Puerto Montt | 6 |
| Puerto Octay | 6 |
| Puerto Varas | 6 |
| Puqueldón | 6 |
| Purranque | 6 |
| Puyehue | 6 |
| Queilén | 6 |
| Quellón | 6 |
| Quemchi | 6 |
| Quinchao | 6 |
| Río Negro | 6 |
| San Juan de la Costa | 6 |
| San Pablo | 5 |

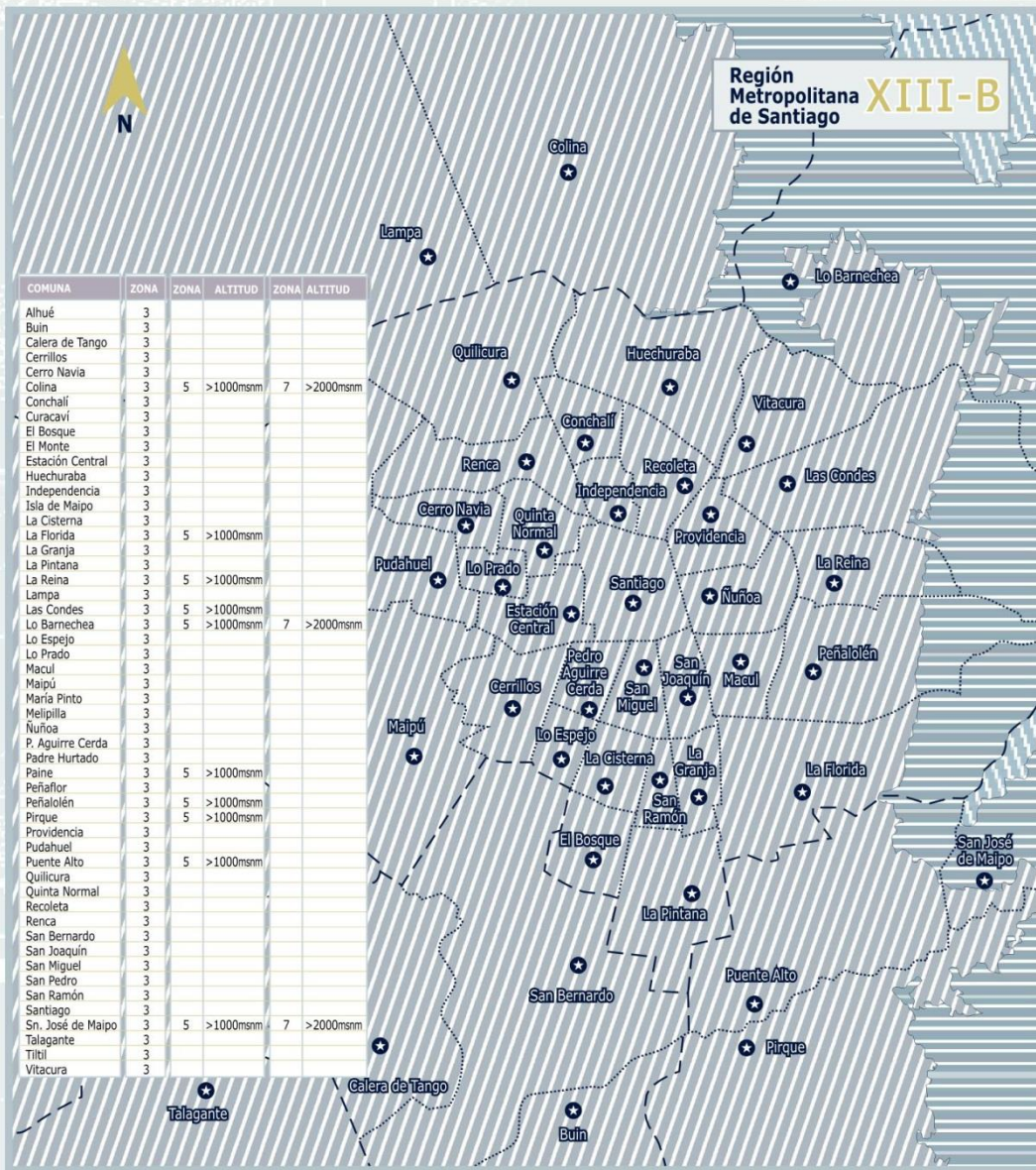
| LEYENDA | ZONA | GRADO DÍA | SIMBOLOGIA |
|---------|--------|-----------------|---------------------------|
| | Zona 1 | ≤ 500 | Límite internacional |
| | Zona 2 | > 500 - ≤ 750 | Límite regional |
| | Zona 3 | > 750 - ≤ 1000 | Límite provincial |
| | Zona 4 | > 1000 - ≤ 1250 | Límite comunal |
| | Zona 5 | > 1250 - ≤ 1500 | Límite costero |
| | Zona 6 | > 1500 - ≤ 2000 | Ubicación capital comunal |
| | Zona 7 | > 2000 | |

Fuente: Cartografía, MIDEPLAN
 Ajustada a imágenes de Satélite, Landsat 7 ETM
 Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Huso 19



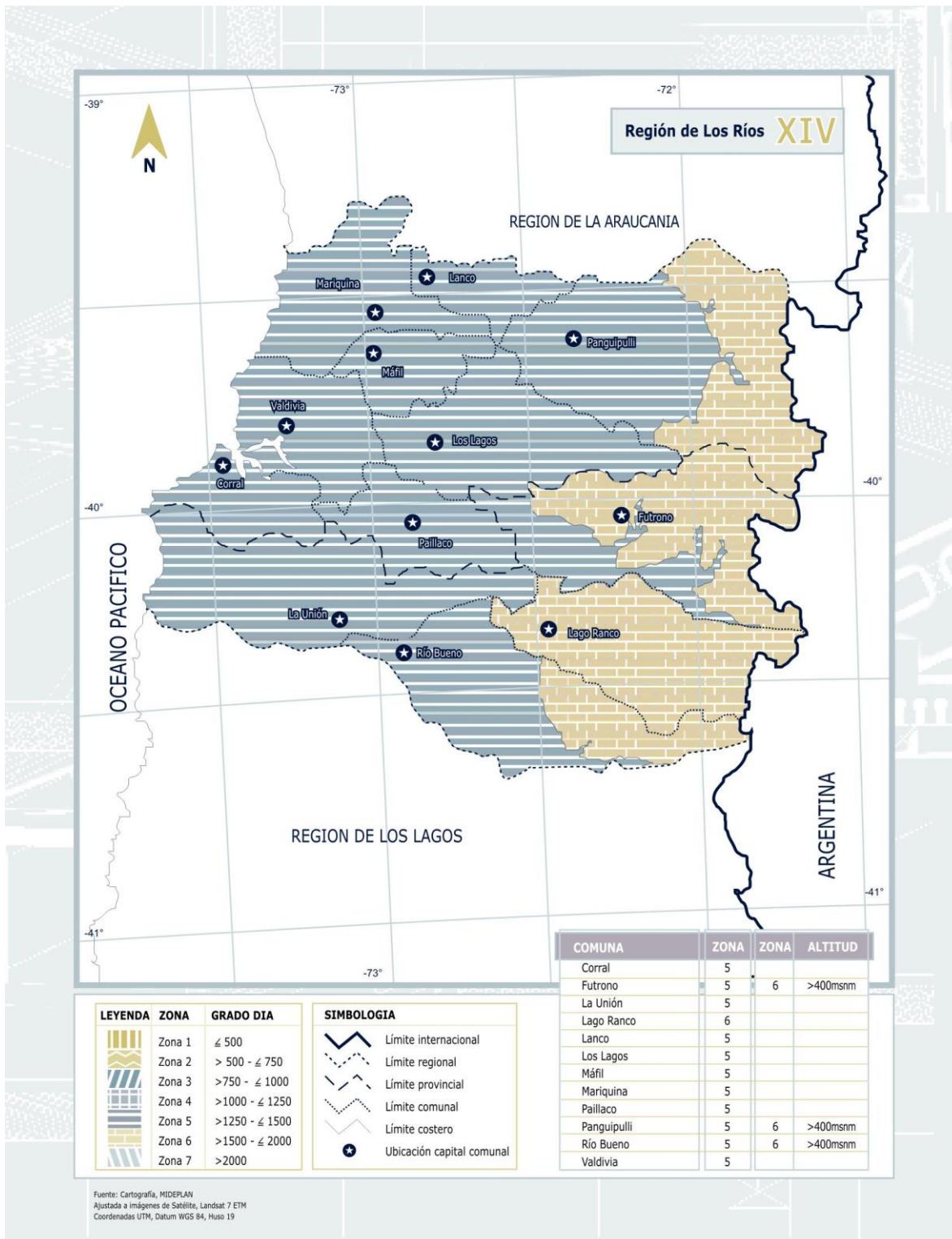


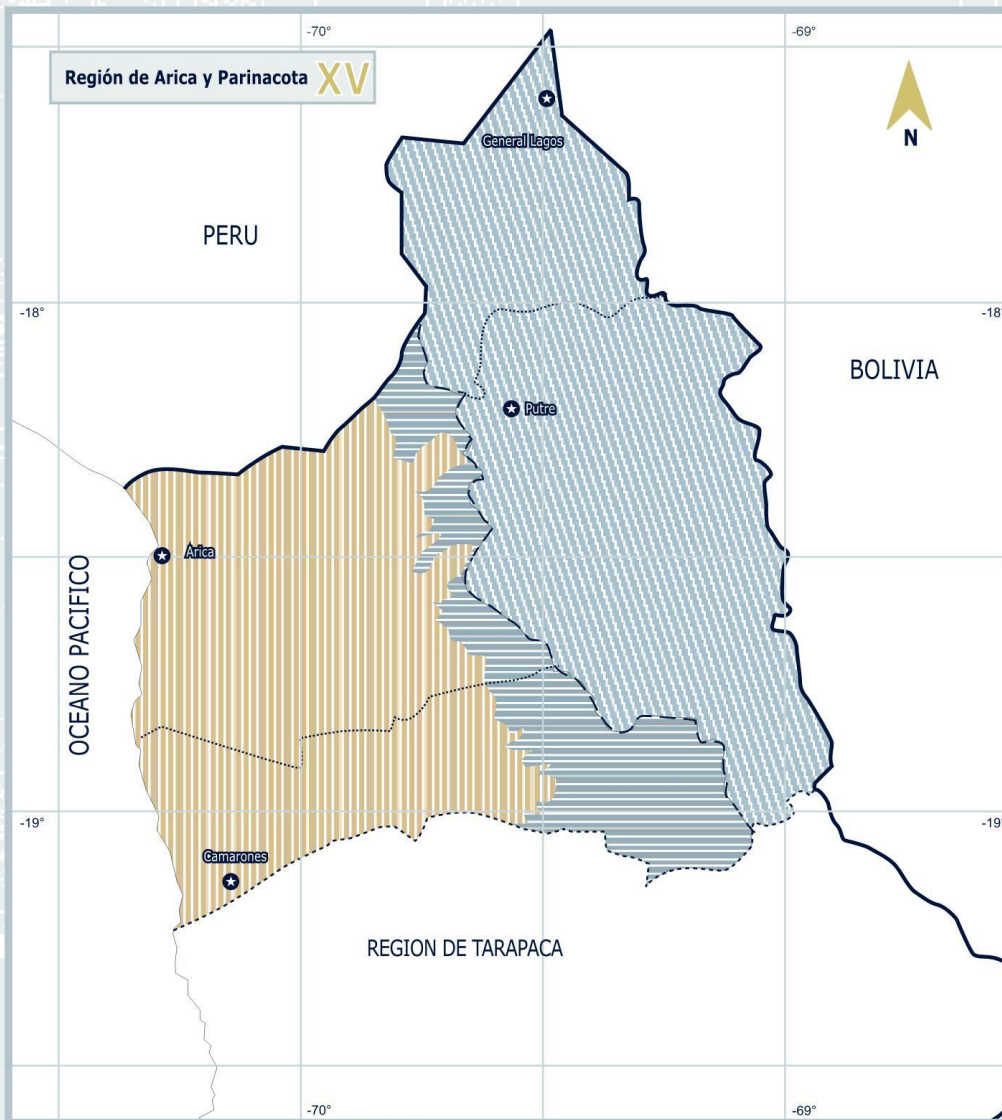




| SIMBOLOGIA | | LEYENDA | |
|------------|----------------------|---------|------------------------|
| | Límite internacional | | Zona 1 ≤ 500 |
| | Límite regional | | Zona 2 > 500 - ≤ 750 |
| | Límite provincial | | Zona 3 > 750 - ≤ 1000 |
| | Límite comunal | | Zona 4 > 1000 - ≤ 1250 |
| | Límite costero | | Zona 5 > 1250 - ≤ 1500 |
| | Capital comunal | | Zona 6 > 1500 - ≤ 2000 |
| | | | Zona 7 > 2000 |

Fuente: Cartografía, MIDEPLAN
Ajustada a imágenes de Satélite, Landsat 7 ETM
Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Huso 19





| LEYENDA | ZONA | GRADO DIA |
|---------|--------|-----------------|
| | Zona 1 | ≤ 500 |
| | Zona 2 | > 500 - ≤ 750 |
| | Zona 3 | > 750 - ≤ 1000 |
| | Zona 4 | > 1000 - ≤ 1250 |
| | Zona 5 | > 1250 - ≤ 1500 |
| | Zona 6 | > 1500 - ≤ 2000 |
| | Zona 7 | > 2000 |

| SIMBOLOGIA | |
|------------|----------------------|
| | Límite internacional |
| | Límite regional |
| | Límite provincial |
| | Límite comunal |
| | Límite costero |
| | Capital comunal |

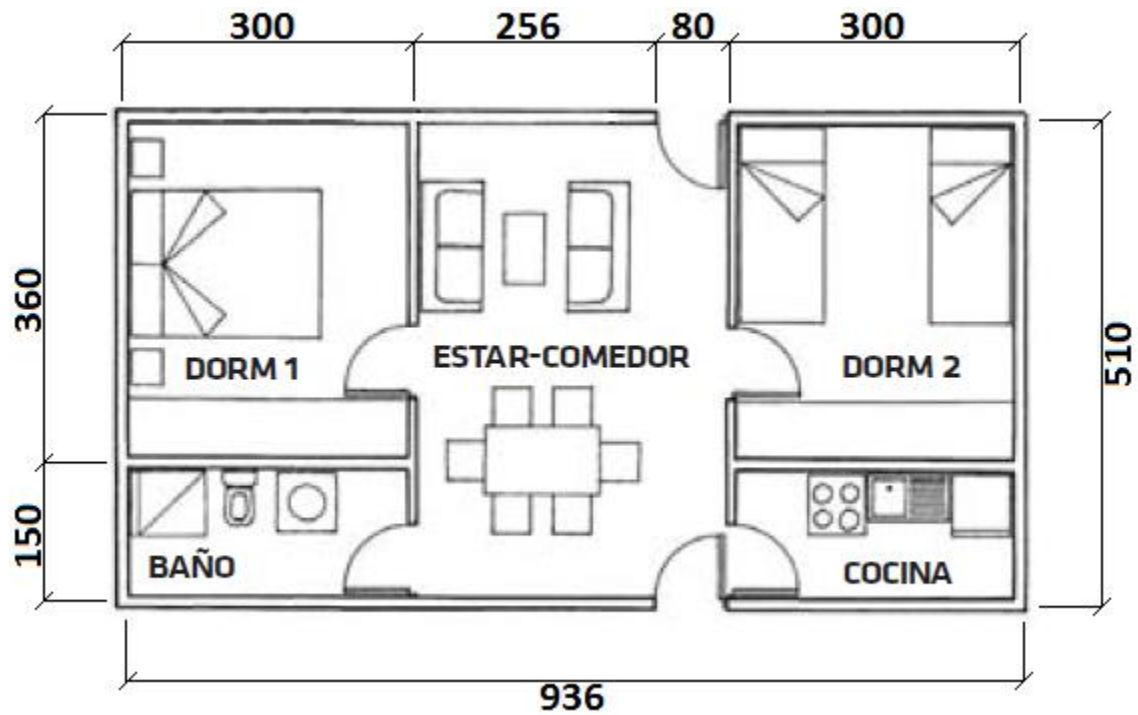
| COMUNA | ZONA | ZONA | ALTITUD |
|---------------|------|------|-----------|
| Arica | 1 | 5 | >3000msnm |
| Camarones | 1 | 5 | >3000msnm |
| General Lagos | 7 | | |
| Putre | 7 | | |

Fuente: Cartografía, MIDEPLAN
 Ajustada a imágenes de Satélite, Landsat 7 ETM
 Coordenadas UTM, Datum WGS 84, Huso 19

Anexo B

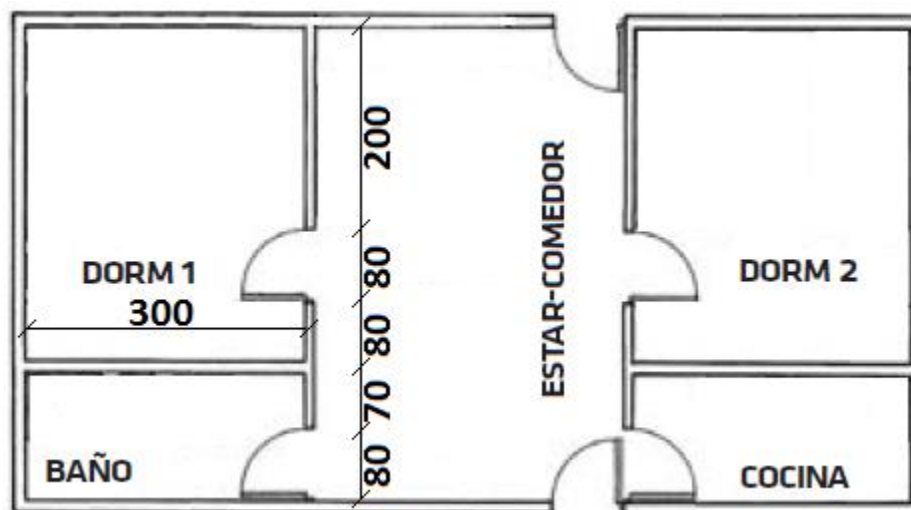
B.1 Arquitectura básica de la vivienda

Ilustración 13: Planta vivienda social, dimensiones externas.



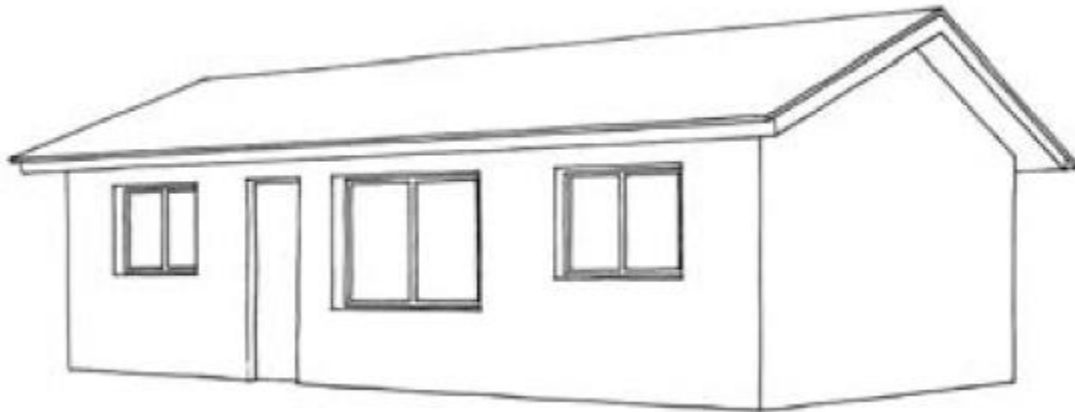
Fuente: Elaboración propia en base a Guía de Diseño para la eficiencia energética en la vivienda social.

Ilustración 14: Planta vivienda social, dimensiones internas.



Fuente: Elaboración propia en base a Guía de Diseño para la eficiencia energética en la vivienda social.

Ilustración 15: Vista exterior genérica de vivienda social.



Fuente: Guía de Diseño para la eficiencia energética en la vivienda social.

B.2 Fachadas de vivienda analizadas con *DesignBuilder*

A continuación se presentan los modelos para cada zona térmica analizada por el Software *DesignBuilder*. Los modelos del lado izquierdo de cada ilustración que sigue (desde Ilustración 16 a Ilustración 22) corresponden a los casos óptimos, mientras que los modelos a la derecha corresponden a casos desfavorables. Los modelos ubicados en la parte superior de la ilustración son las fachadas Norte y Este, mientras que los modelos ubicados en la parte inferior son fachadas Sur y Oeste.

Ilustración 16: Vivienda ZT1, casos óptimo y desfavorable.

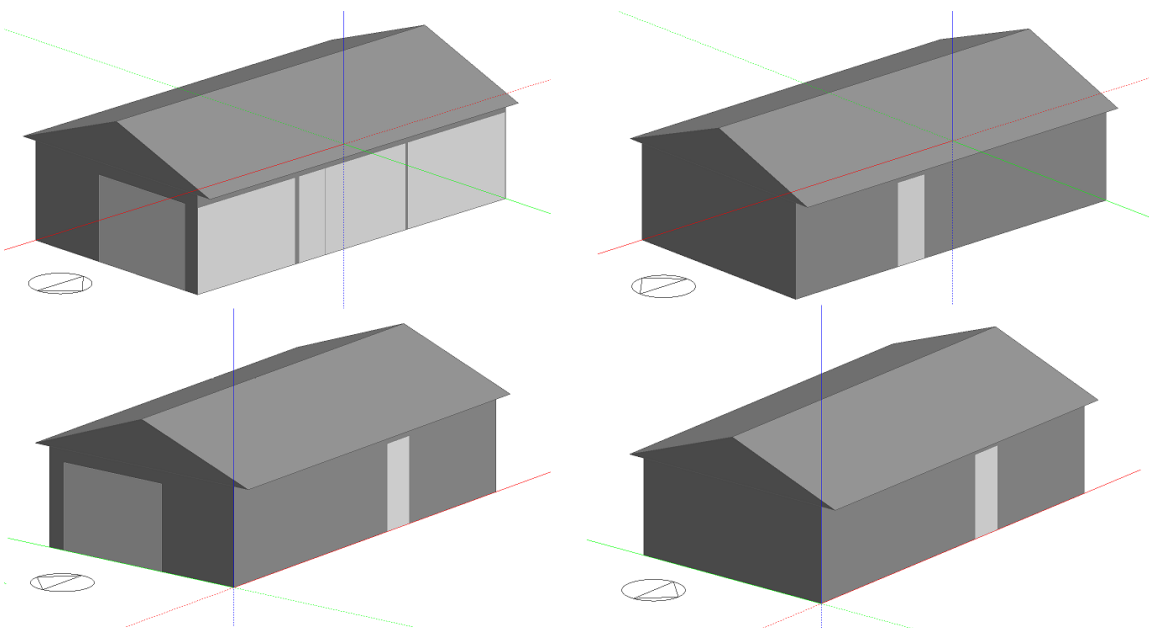


Ilustración 17: Vivienda ZT2, casos óptimo y desfavorable.

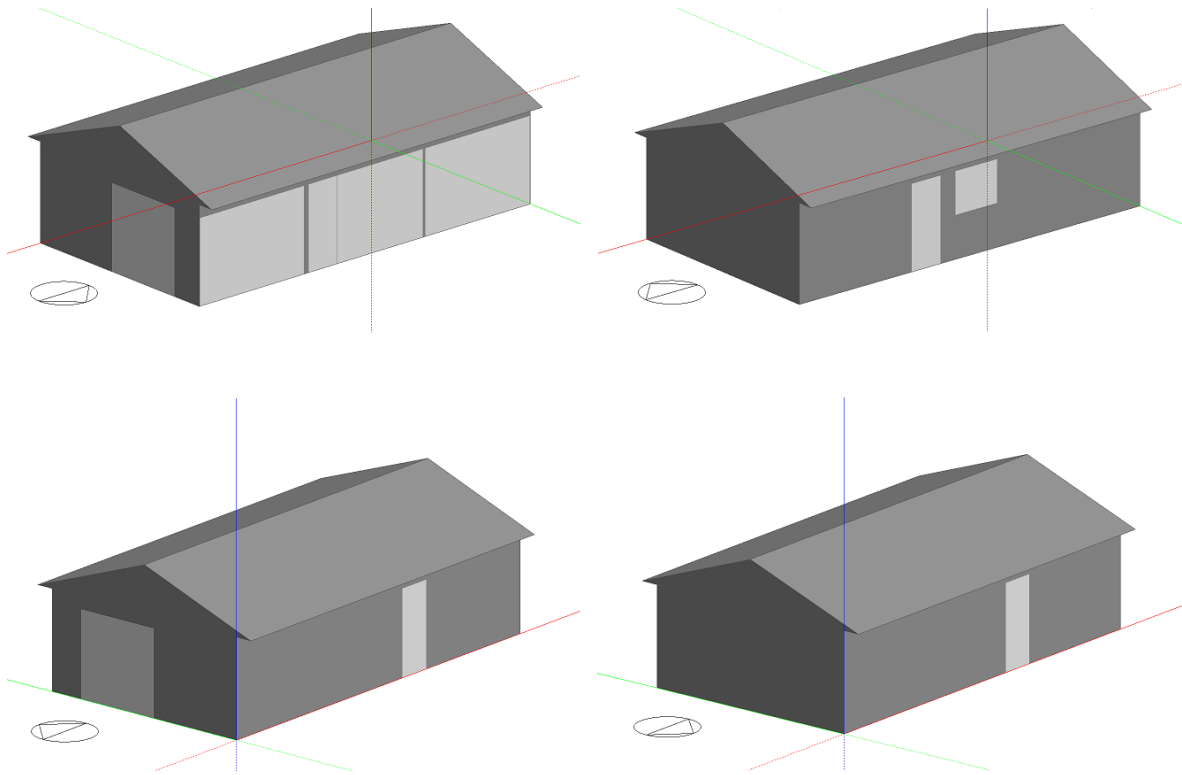


Ilustración 18: Vivienda ZT3, casos óptimo y desfavorable.

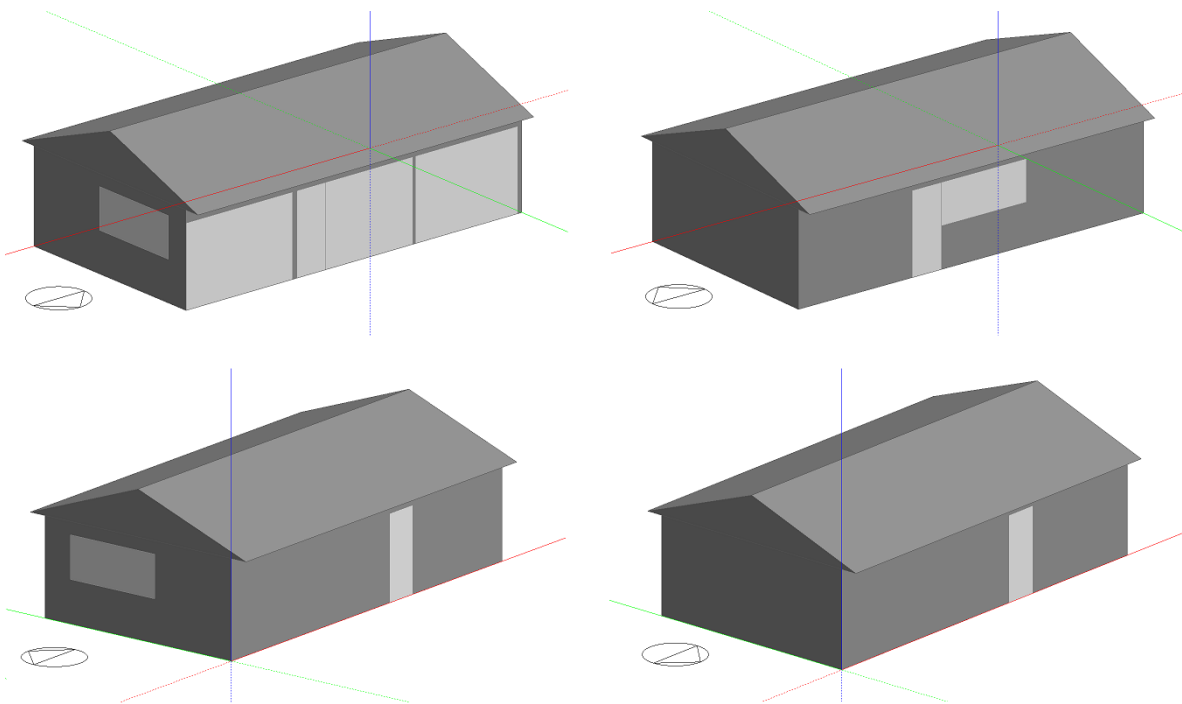


Ilustración 19: Vivienda ZT4, casos óptimo y desfavorable.

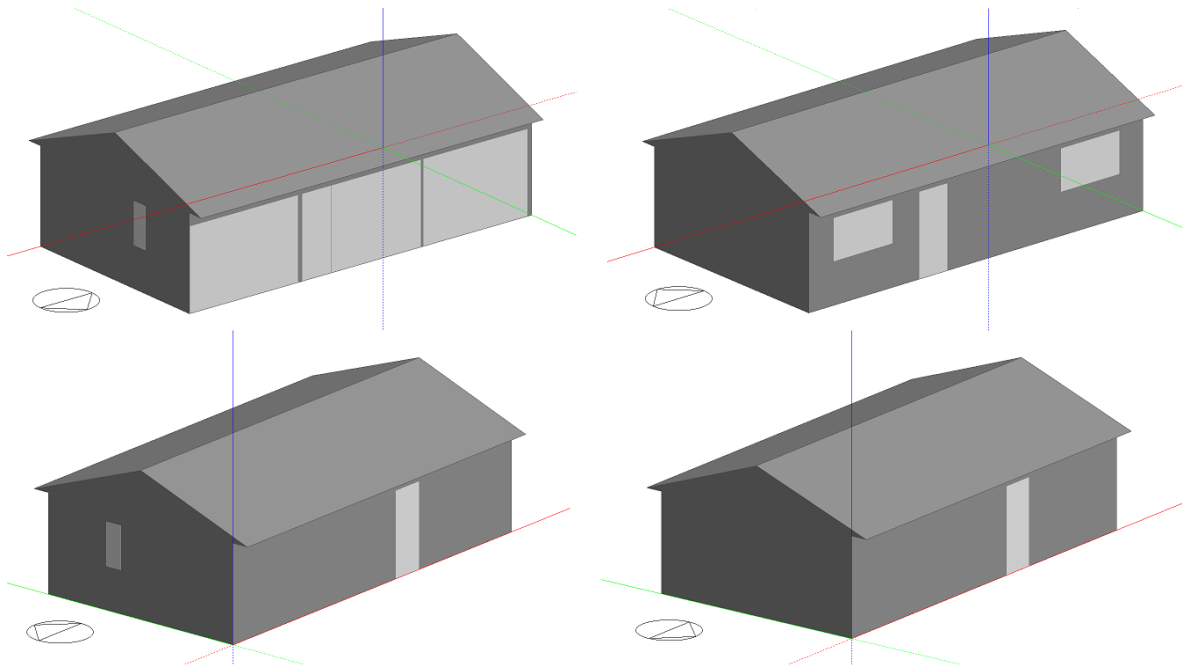


Ilustración 20: Vivienda ZT5, casos óptimo y desfavorable.

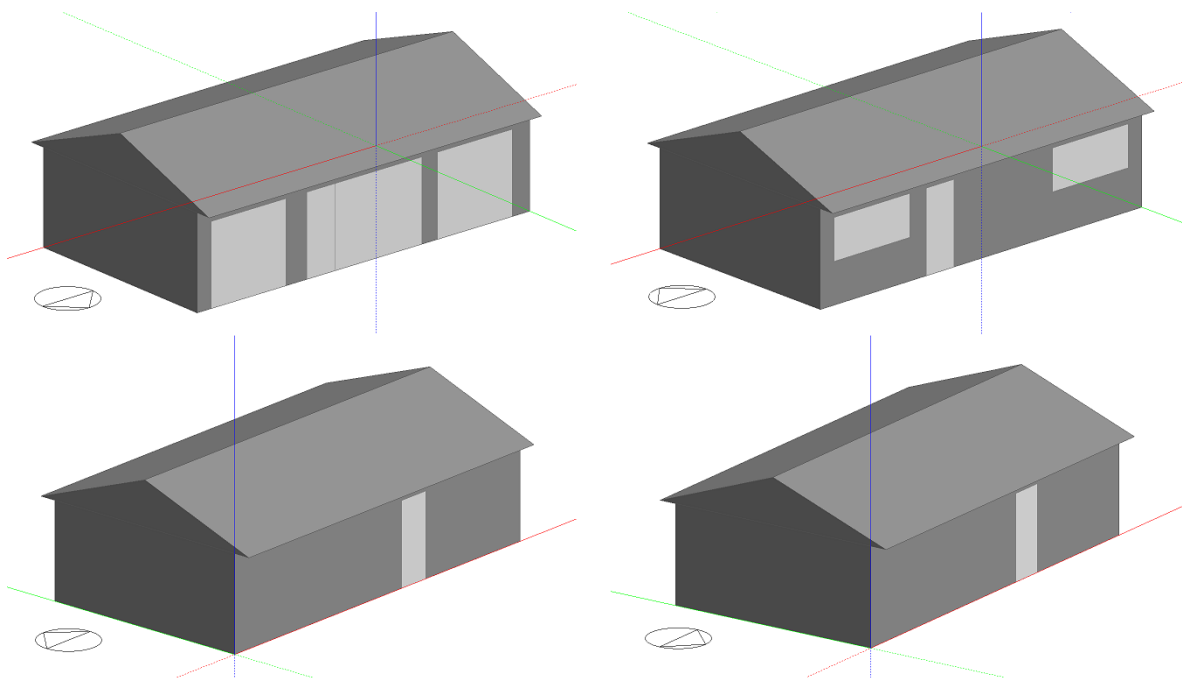


Ilustración 21: Vivienda ZT6, casos óptimo y desfavorable.

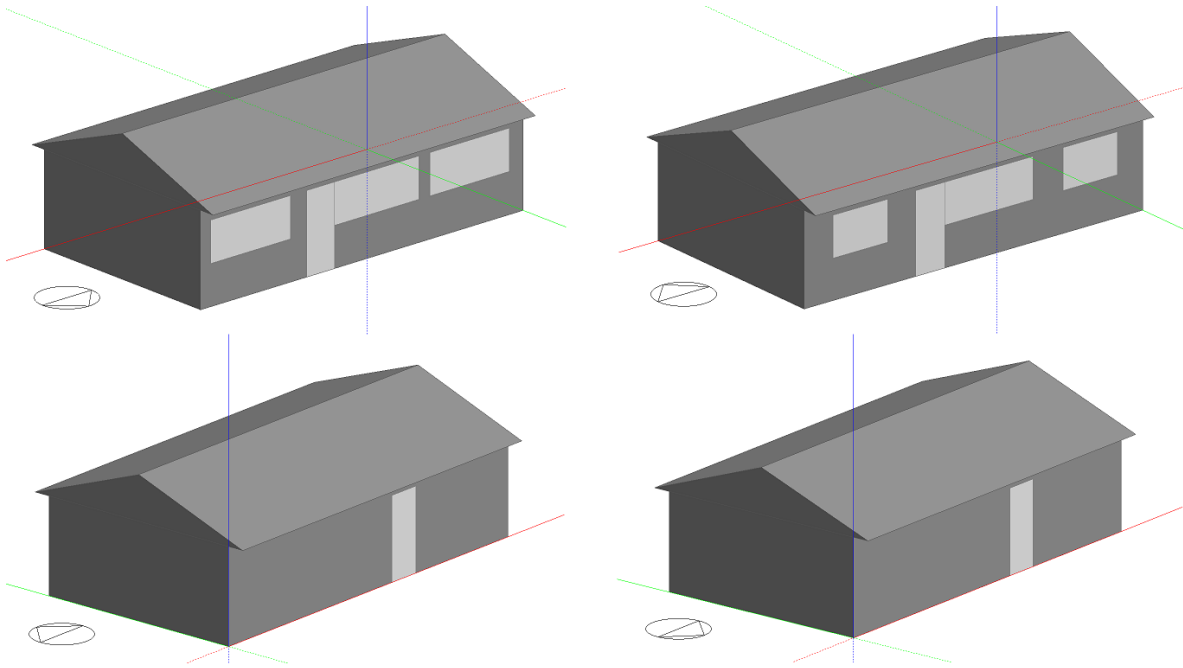
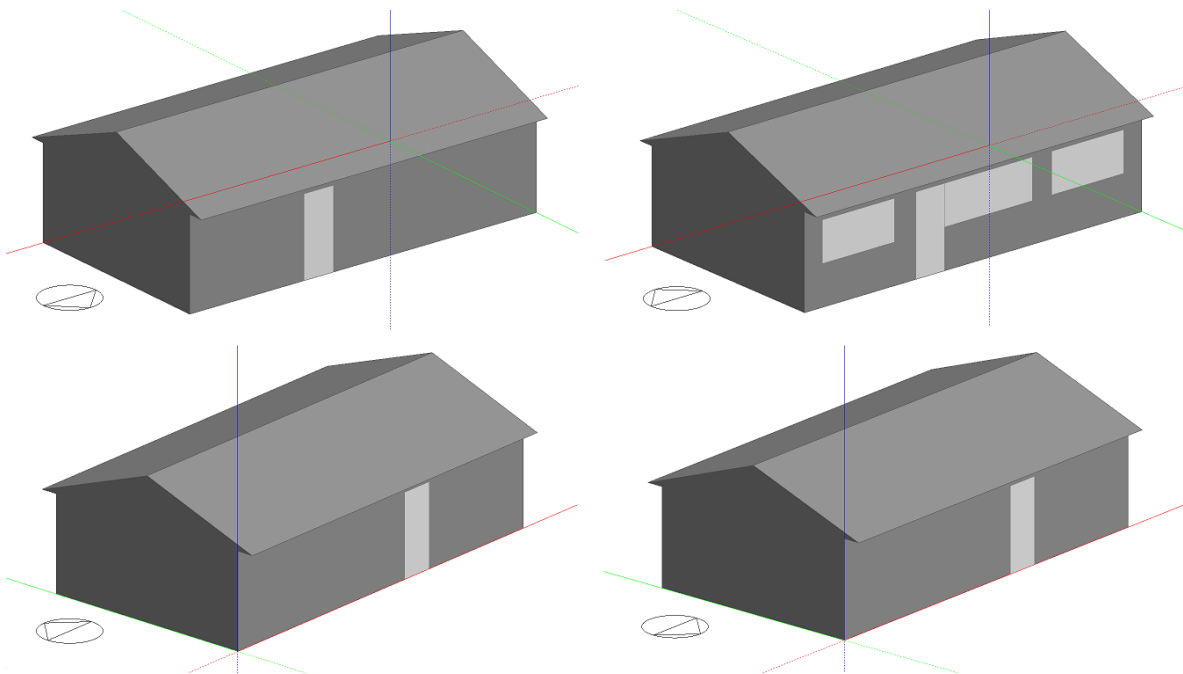


Ilustración 22: Vivienda ZT7, casos óptimo y desfavorable.



B.3 Parámetros específicos utilizados en *DesignBuilder*

Las siguientes ilustraciones muestran los principales parámetros ingresados al programa de simulación energética. Los restantes parámetros son sólo explicados, para no abusar de la cantidad de ilustraciones:

Ilustración 23: Pestaña *Activity* de Baño de vivienda en ZT1 del programa *DesignBuilder*.

The screenshot displays the 'Activity' tab for a bathroom in DesignBuilder. The window title is 'Untitled, ZT1, Piso 1, Baño'. The interface is organized into several sections:

- Activity Template:** Template: Domestic Bathroom; Sector: Residential spaces; Zone type: 1-Standard; Zone multiplier: 1; Include zone in thermal calculations; Include zone in Radiance daylighting calculations.
- Occupancy:** Density (people/m2): 0,1000 (slider from 0 to 4); Schedule: Dwell_DomBath_Occ.
- Metabolic:** (Expanded)
- DHW:** (Expanded)
- Environmental Control:** Heating Setpoint Temperatures: Heating (°C): 20,0 (slider from 0 to 30); Heating set back (°C): 20,0; Cooling Setpoint Temperatures: Cooling (°C): 25,0 (slider from -10 to 30); Cooling set back (°C): 25,0; Humidity Control: RH Humidification setpoint (%): 25,0; RH Dehumidification setpoint (%): 75,0; Ventilation Setpoint Temperatures: Minimum Fresh Air; Lighting; Computers: On; Office Equipment: On; Gain (W/m2): 1,67 (slider from 0 to 80); Schedule: Dwell_DomBath_Equip; Radiant fraction: 0,200.
- Miscellaneous:** (Expanded)
- Catering:** (Expanded)
- Process:** (Expanded)

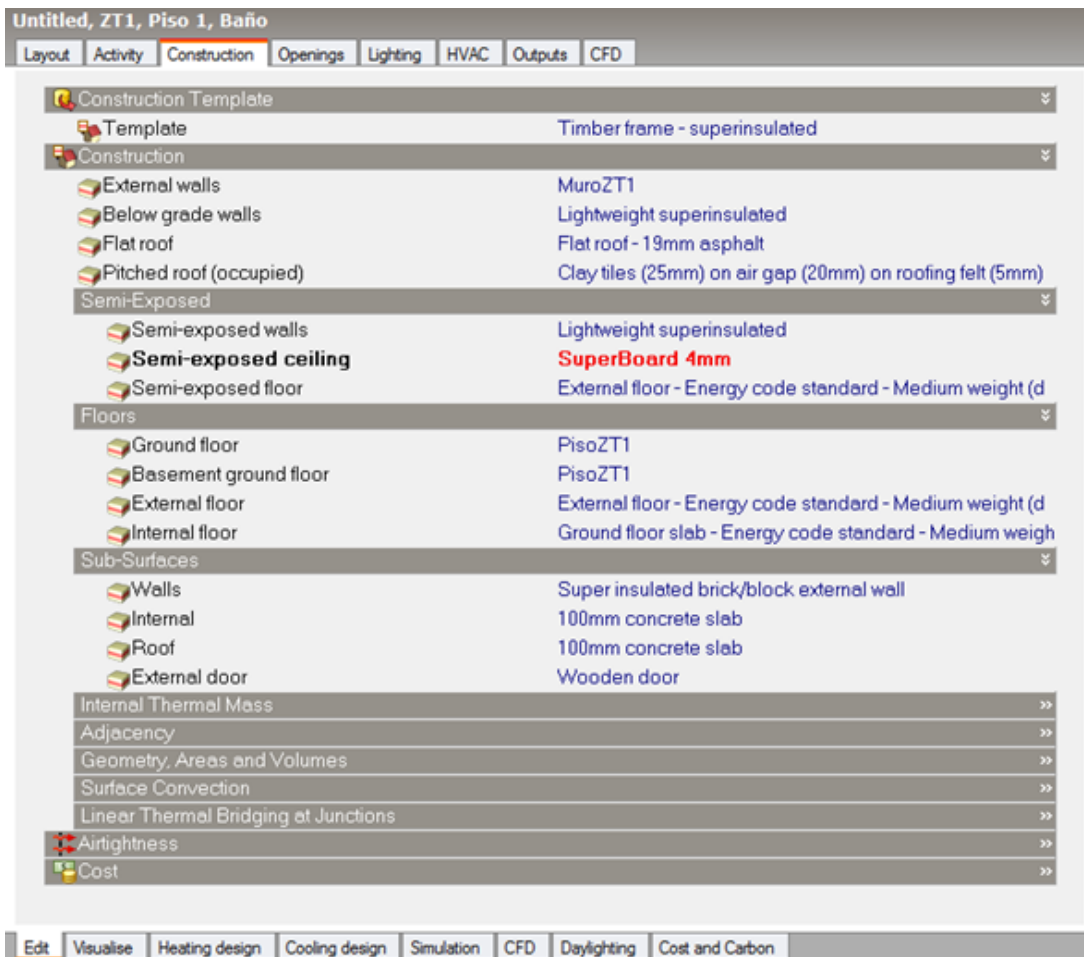
The bottom navigation bar includes: Edit, Visualise, Heating design, Cooling design, Simulation, CFD, Daylighting, Cost and Carbon.

En el apartado *Activity* en el Software, se tuvo en cuenta el tipo de actividad de cada recinto, es decir, el baño es configurado como “*domestic bathroom*”, la cocina como “*domestic kitchen*”, los dormitorios como “*domestic bedroom*” y el living-comedor como “*domestic dining room*”, lo cual condiciona al programa a valores estándar de número de personas por unidad de área (finalmente un aporte energético a la vivienda), a valores estándar de aire consumido por persona, equipamiento de oficina (otro aporte energético a la vivienda), entre los más importantes. Para el complejo de techumbre, se considera una zona tipo “*semi exterior unconditioned*”, lo cual configura automáticamente ningún tipo de actividad en él, además de eliminar cualquier tipo de calefacción, equipamiento de oficina, entre otros. Se modifica la densidad de personas para cada recinto, temperaturas de calefacción y refrigeración, ganancias por uso de computadores y por equipos de oficina, valores mostrados en el Cuadro 90:

Cuadro 90: Valores modificados en apartado *Activity* para cada recinto.

| Recinto | Occupancy [personas/m ²] | Heating Setpoint Temperature [°C] | Cooling Setpoint Temperature [°C] | Computers [W/m ²] | Office Equipment [W/m ²] |
|--------------------|---|---|---|----------------------------------|--|
| Baño | 0,1 | 20 | 0 | 0 | 1,67 |
| Cocina | 0,22 | 20 | 0 | 0 | 30,28 |
| Dormitorio 1 | 0,07 | 20 | 0 | 5 | 3,58 |
| Dormitorio 2 | 0,07 | 20 | 0 | 5 | 3,58 |
| Living- Comedor | 0,07 | 20 | 0 | 0 | 3,06 |
| Techumbre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Ilustración 24: Pestaña *Construction* de Baño de vivienda en ZT1 del programa DesignBuilder.



En el apartado *Construction*, se configura la vivienda con la plantilla de construcción “*timber frame - superinsulated*”, que configura valores predefinidos a los distintos elementos constructivos. En el Cuadro 91 aparecen las soluciones constructivas que fueron modificadas y utilizadas a partir de la plantilla mencionada anteriormente:

Cuadro 91: Soluciones constructivas en apartado *Construction* para cada recinto.

| Recinto | <i>External walls</i> | <i>Semi-exposed ceiling</i> | <i>Ground floor</i> | <i>External floor</i> | <i>Internal partitions</i> |
|---------|-----------------------|-----------------------------|----------------------|--|----------------------------|
| Baño | MuroZT1,..., MuroZT7 | <i>SuperBoard 4 mm</i> | PisoZT1,..., PisoZT7 | <i>External floor energy code standard medium weight</i> | Tabique |
| Cocina | MuroZT1,..., MuroZT7 | Yeso-cartón 10mm | PisoZT1,..., PisoZT7 | <i>External floor energy code standard medium weight</i> | Tabique |

| | | | | | |
|--------------------|---------------------------|---|---|--|---|
| Dormitorio 1 | MuroZT1,..., MuroZT7 | Yeso-cartón 10mm | PisoZT1,..., PisoZT7 | <i>External floor energy code standard medium weight</i> | Tabique |
| Dormitorio 2 | MuroZT1,..., MuroZT7 | Yeso-cartón 10mm | PisoZT1,..., PisoZT7 | <i>External floor energy code standard medium weight</i> | Tabique |
| Living- Comedor | MuroZT1,..., MuroZT7 | Yeso-cartón 10mm | PisoZT1,..., PisoZT7 | <i>External floor energy code standard medium weight</i> | Tabique |
| Techumbre | TechoZT1,..., TechoZT7 | <i>Roofspace floor insulation 150mm</i> | <i>Ground floor slab energy code standard medium weight</i> | <i>External floor Uninsulated heavyweight</i> | <i>Lightweight 2x25 mm gypsum plasterboard with 100 mm cavity</i> |

Continuación cuadro 90.

En el Cuadro 92 aparecen las características de las distintas soluciones constructivas en *External walls* utilizadas en la modelación, soluciones que tuvieron que ser creadas para alcanzar los valores estipulados por la Reglamentación Térmica:

Cuadro 92: Características de soluciones constructivas en *External walls*.

| <i>External walls</i> | Material capas | Espesor [m] | U total [W/m ² K] | Conductividad [W/mK] | Calor específico [J/kgK] | Densidad [kg/m ³] |
|-----------------------|--|-------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| MuroZT1 | - OSB | 0,0104 | 4 | 0,13 | 1700 | 650 |
| MuroZT2 | - OSB | 0,0212 | 3 | 0,13 | 1700 | 650 |
| MuroZT3 | - <i>Concrete cast cellular bonded</i> | 0,1069 | 1,9 | 0,3 | 2040 | 520 |
| MuroZT4 | - <i>Concrete cast cellular bonded</i> | 0,125 | 1,7 | 0,3 | 2040 | 520 |
| MuroZT5 | - <i>Standard insulation</i> | 0,0025 | 1,6 | 0,04 | 840 | 12 |
| | - <i>Concrete cast cellular bonded</i> | 0,1178 | | 0,3 | 2040 | 520 |
| MuroZT6 | - <i>Standard insulation</i> | 0,0153 | 1,1 | 0,04 | 840 | 12 |
| | - <i>Concrete cast cellular bonded</i> | 0,1069 | | 0,3 | 2040 | 520 |
| MuroZT7 | - <i>Standard insulation</i> | 0,0465 | 0,6 | 0,04 | 840 | 12 |
| | - <i>Concrete cast cellular bonded</i> | 0,1 | | 0,3 | 2040 | 520 |

| | | | | | | | |
|----------|-----------------------|--------|------|---|------|------|-----|
| TechoZT1 | - Clay tile (roof) | 0,15 | 0,84 | 1 | 800 | 2000 | |
| | - Standard insulation | 0,0298 | | | 0,04 | 840 | 12 |
| | - OSB | 0,02 | | | 0,13 | 1700 | 650 |
| TechoZT2 | - Clay tile (roof) | 0,15 | 0,6 | 1 | 800 | 2000 | |
| | - Standard insulation | 0,0489 | | | 0,04 | 840 | 12 |
| | - OSB | 0,02 | | | 0,13 | 1700 | 650 |
| TechoZT3 | - Clay tile (roof) | 0,15 | 0,47 | 1 | 800 | 2000 | |
| | - Standard insulation | 0,0674 | | | 0,04 | 840 | 12 |
| | - OSB | 0,02 | | | 0,13 | 1700 | 650 |
| TechoZT4 | - Clay tile (roof) | 0,15 | 0,38 | 1 | 800 | 2000 | |
| | - Standard insulation | 0,0875 | | | 0,04 | 840 | 12 |
| | - OSB | 0,02 | | | 0,13 | 1700 | 650 |
| TechoZT5 | - Clay tile (roof) | 0,15 | 0,33 | 1 | 800 | 2000 | |
| | - Standard insulation | 0,1033 | | | 0,04 | 840 | 12 |
| | - OSB | 0,02 | | | 0,13 | 1700 | 650 |
| TechoZT6 | - Clay tile (roof) | 0,15 | 0,28 | 1 | 800 | 2000 | |
| | - Standard insulation | 0,125 | | | 0,04 | 840 | 12 |
| | - OSB | 0,02 | | | 0,13 | 1700 | 650 |
| TechoZT7 | - Clay tile (roof) | 0,15 | 0,25 | 1 | 800 | 2000 | |
| | - Standard insulation | 0,142 | | | 0,04 | 840 | 12 |
| | - OSB | 0,02 | | | 0,13 | 1700 | 650 |

Continuación cuadro 91.

En el Cuadro 93 aparecen las características de las distintas soluciones constructivas en *Semi-exposed ceiling* utilizadas en la modelación:

Cuadro 93: Características de soluciones constructivas en *Semi-exposed ceiling*.

| <i>Semi-exposed ceiling</i> | Material capas | Espesor [m] | U total [W/m ² K] | Conductividad [W/mK] | Calor específico [J/kgK] | Densidad [kg/m ³] |
|---|---|-------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <i>SuperBoard 4 mm</i> | <i>Concrete cast mediumweight with lime</i> | 0,004 | 3,63 | 0,73 | 880 | 1650 |
| <i>Yeso-cartón 10 mm</i> | <i>Cement/plaster /mortar gypsum plasterboard</i> | 0,01 | 3,5 | 0,65 | 840 | 1100 |
| <i>Roofspace floor insulation 150mm</i> | <i>MW glass wool (standard board)</i> | 0,15 | 0,225 | 0,036 | 840 | 20 |

En el Cuadro 94 aparecen las características de las distintas soluciones constructivas en *Ground floor* utilizadas en la modelación:

Cuadro 94: Características de las soluciones constructivas en *Ground floor*.

| <i>Ground floor</i> | Material capas | Espesor [m] | U total [W/m ² K] | Conductividad [W/mK] | Calor específico [J/kgK] | Densidad [kg/m ³] |
|---|--|-------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| PisoZT1 | <i>Chipboard</i> | 0,0102 | 3,6 | 0,15 | 2093 | 800 |
| PisoZT2 | <i>Aerated concrete slab</i> | 0,15 | 0,87 | 0,16 | 840 | 500 |
| PisoZT3 | <i>Aerated concrete slab</i> | 0,195 | 0,7 | 0,16 | 840 | 500 |
| PisoZT4 | - <i>Aerated concrete slab</i> | 0,193 | 0,6 | 0,16 | 840 | 500 |
| | - <i>Standard insulation</i> | 0,01 | | 0,04 | 840 | 12 |
| PisoZT5 | - <i>Aerated concrete slab</i> | 0,195 | 0,5 | 0,16 | 840 | 500 |
| | - <i>Standard insulation</i> | 0,0229 | | 0,04 | 840 | 12 |
| PisoZT6 | - <i>Aerated concrete slab</i> | 0,337 | 0,39 | 0,16 | 840 | 500 |
| | - <i>Standard insulation</i> | 0,01 | | 0,04 | 840 | 12 |
| PisoZT7 | - <i>Aerated concrete slab</i> | 0,3748 | 0,32 | 0,16 | 840 | 500 |
| | - <i>Standard insulation</i> | 0,0229 | | 0,04 | 840 | 12 |
| <i>Ground floor slab energy code standard medium weight</i> | - <i>XPS extruded polystyrene CO₂ blowing</i> | 0,03 | 0,778 | 0,034 | 1400 | 35 |
| | - <i>Cast concrete</i> | 0,15 | | 1,13 | 1000 | 2000 |

En el Cuadro 95 aparecen las características de las distintas soluciones constructivas en *External floor* utilizadas en la modelación:

Cuadro 95: Características de las soluciones constructivas en *External floor*.

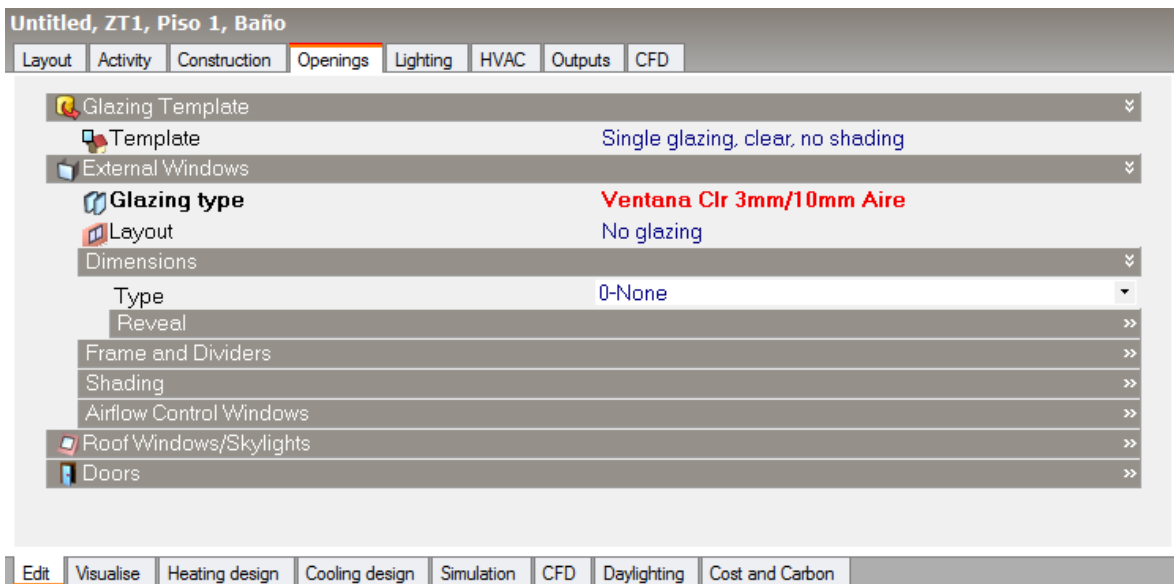
| <i>External floor</i> | Material capas | Espesor [m] | U total [W/m ² K] | Conductividad [W/mK] | Calor específico [J/kgK] | Densidad [kg/m ³] |
|--|--------------------------------|-------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| <i>External floor energy code standard medium weight</i> | - <i>External rendering</i> | 0,025 | 0,255 | 0,5 | 1000 | 1300 |
| | - <i>MW stone wool (rolls)</i> | 0,1439 | | 0,04 | 840 | 30 |
| <i>External floor Uninsulated heavyweight</i> | - <i>External rendering</i> | 0,025 | 2,128 | 0,5 | 1000 | 1300 |
| | - <i>Air gap 10 mm</i> | 0,02 | | 0,3 | 1000 | 1000 |

En el Cuadro 96 aparecen las características de las distintas soluciones constructivas en *Internal partitions* utilizadas en la modelación:

Cuadro 96: Características de las soluciones constructivas en *Internal partitions*.

| <i>Internal partitions</i> | Material capas | Espesor [m] | U total [W/m ² K] | Conductividad [W/mK] | Calor específico [J/kgK] | Densidad [kg/m ³] |
|--|--|-------------|------------------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Tabique | - Concrete cast mediumweight with lime | 0,006 | 0,584 | 0,73 | 880 | 1650 |
| | - 2.0 in depth wood framing R10.0 insulation | 0,051 | | 0,036 | 1470 | 10 |
| | - Concrete cast mediumweight with lime | 0,006 | | 0,73 | 880 | 1650 |
| Lightweight 2x25 mm gypsum plasterboard with 100 mm cavity | - Gypsum plasterboard | 0,025 | - | 0,25 | 1000 | 900 |
| | - Air gap 10 mm | 0,1 | | 0,3 | 1000 | 1000 |
| | - Gypsum plasterboard | 0,025 | | 0,25 | 1000 | 900 |

Ilustración 25: Pestaña *Openings* de Baño de vivienda en ZT1 del programa *DesignBuilder*.



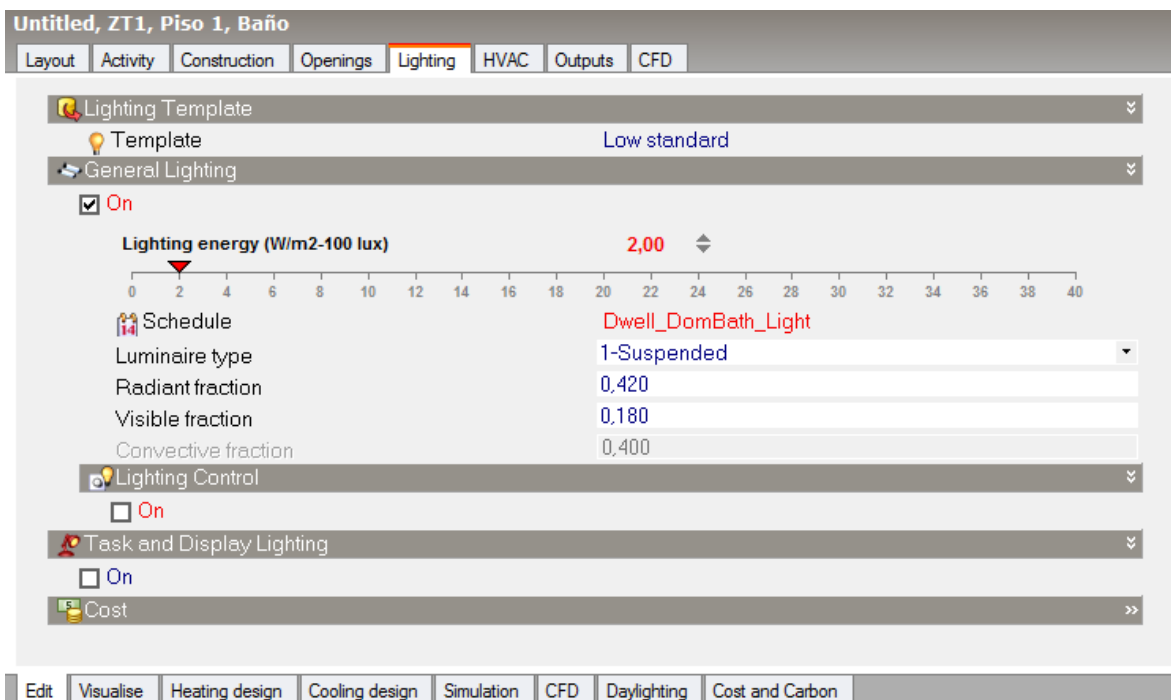
En el apartado *Openings*, para el caso óptimo se escoge la plantilla “*single glazing, clear, no shading*”, cambiando la opción *Glazing type* a “*ventana clr 3/10 aire*”. Para el caso desfavorable se escoge la misma plantilla, pero se cambia la opción *Glazing type* a “*Sgl clr 3 mm*”. Las características de dichas ventanas se muestran en el Cuadro 97:

Cuadro 97: Características de las soluciones constructivas en *Glazing type*.

| <i>Glazing type</i> | Material capas | Espesor [m] | U total [W/m ² K] | Conductividad [W/mK] | Transmitancia solar [%] |
|-----------------------|-----------------------------|-------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Ventana clr 3/10 aire | - <i>Generic clear 3 mm</i> | 0,003 | 2,816 | 0,9 | 0,837 |
| | - <i>Air 10 mm</i> | 0,01 | | - | - |
| | - <i>Generic clear 3 mm</i> | 0,003 | | 0,9 | 0,837 |
| <i>Sgl clr 3 mm</i> | - <i>Generic clear 3 mm</i> | 0,003 | 5,894 | 0,9 | 0,837 |

La cantidad de superficie vidriada en cada fachada de la vivienda, para cada caso a analizar y zona térmica es la misma que para el caso teórico (ver Cuadro 35 y Cuadro 50).

Ilustración 26: Pestaña *Lighting* de Baño de vivienda en ZT1 del programa *DesignBuilder*.

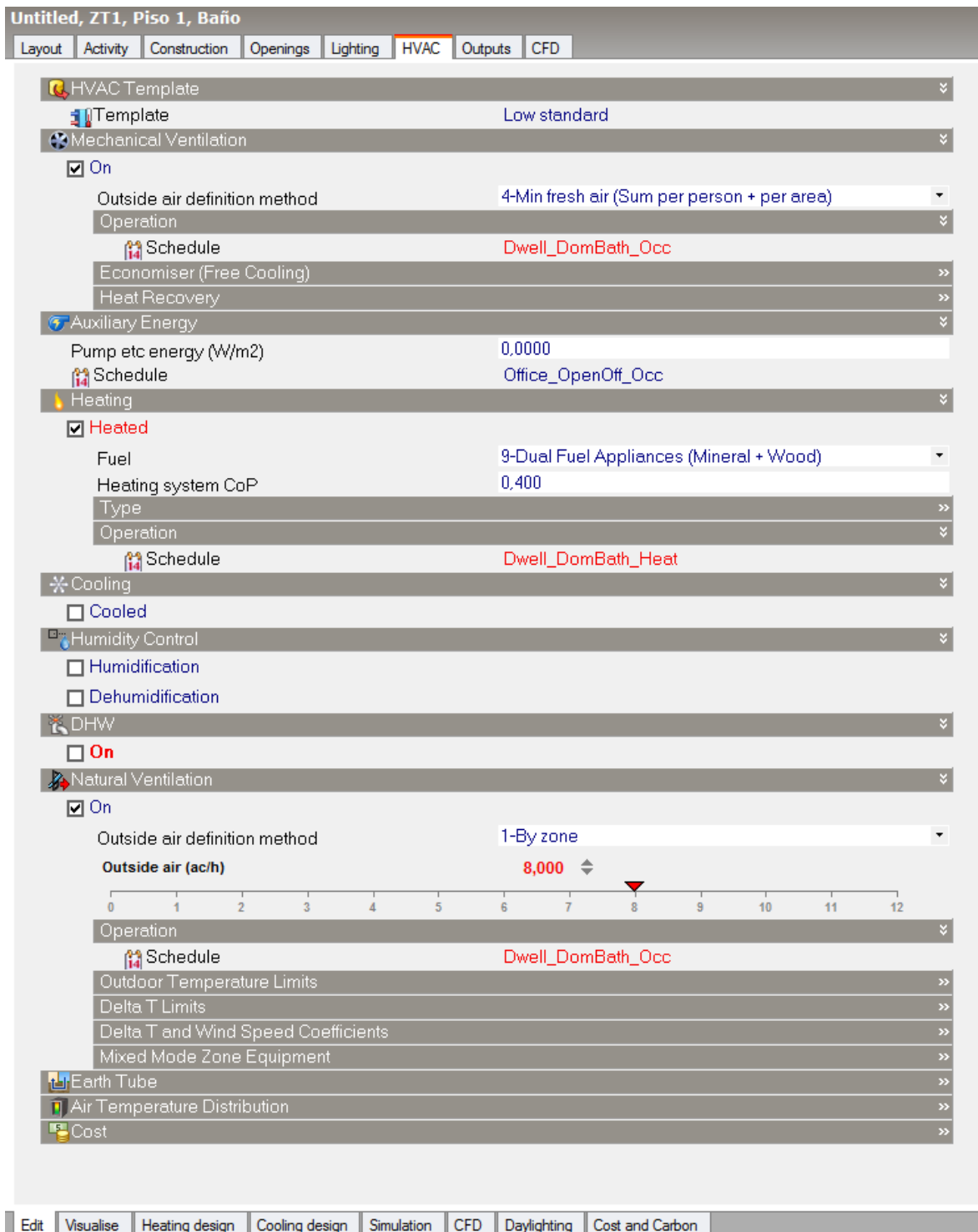


En el apartado *Lighting*, se utiliza la plantilla “*low standard*”, configurando para cada recinto (menos el techo) un valor de energía aportada por luz de 2 W/m²-100 lux. Se utilizan los horarios de uso predeterminados por el programa, tal como lo muestra el Cuadro 98, en donde los porcentajes presentados corresponden a la fracción de potencia que está siendo utilizada por el sistema de iluminación:

Cuadro 98: Horarios de uso de iluminación en recintos mediante simulación a través de Software.

| Recinto | Baño y cocina | Dormitorio 1 y 2 | Living-comedor | Techo |
|---------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------|
| Horario | 07:00-10:00 100% 19:00-23:00 100% | 07:00-10:00 100% 19:00-23:00 20% | 06:00-10:00 100% 18:00-22:00 100% | - |

Ilustración 27: Pestaña HVAC de Baño de vivienda en ZT1 del programa DesignBuilder.



En el apartado HVAC (*heating, ventilating and air conditioning*) se utiliza la plantilla “*low standard*” y se considera sin unidad de refrigeración (*cooling*) como se ha nombrado anteriormente, debido al tipo de la vivienda analizado. Se

considera ventilación mecánica, seleccionando en la sección *outside air definition method* la opción “*min fresh air (sum per person + per area)*”, es decir, una entrada de aire fresco mínimo por persona y por área de la vivienda, con un horario predeterminado por el programa. Se considera el complejo de techumbre sin calefacción ni unidad de refrigeración. En la sección *heating* se configuran el CoP “*coefficient of performance*” y “*fuel*” del sistema de calefacción utilizado de la forma como se muestra en el Cuadro 99. Los valores pueden variar mucho entre sistemas y equipos, por lo que se han adoptado valores genéricos para cada uno. Además, se podría considerar que el gas natural posee el mismo CoP que la parafina, obteniendo 5 sistemas de calefacción a modelar, pero para efectos prácticos, serán considerados sólo 4:

Cuadro 99: CoP y tipo de combustible utilizado en sistemas de calefacción.

| Calefacción | CoP* | Fuel |
|-------------------|------|--|
| Leña | 0,4 | <i>Dual fuel appliances (mineral + wood)</i> |
| Estufa a parafina | 0,7 | <i>Oil</i> |
| Estufa eléctrica | 1 | <i>Electricity from grid</i> |
| Bomba de calor | 3,5 | <i>Electricity from grid</i> |

* Fuente: ASHRAE Handbook 2004 [39].

Los horarios considerados para el uso de la calefacción se encuentran en el Cuadro 100, en donde los porcentajes presentados corresponden a la fracción de potencia que está siendo utilizada por el sistema de calefacción:

Cuadro 100: Horarios de uso de calefacción en recintos mediante simulación a través de Software.

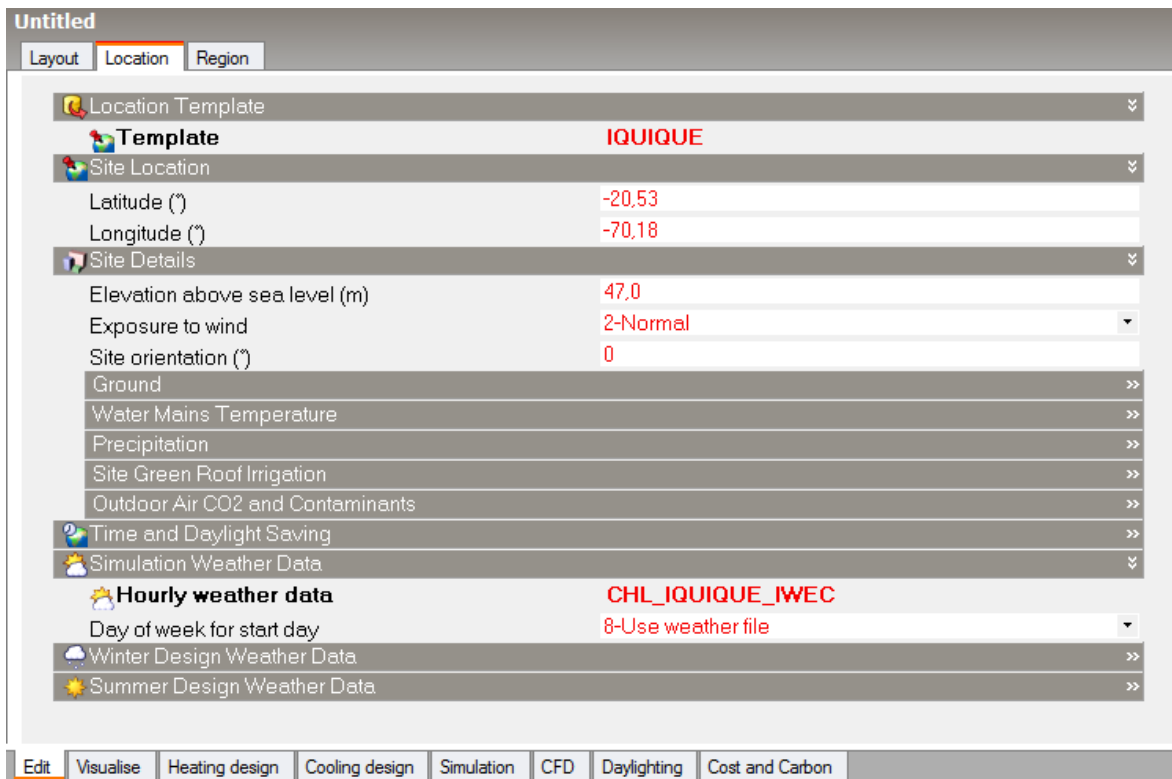
| Recinto | Baño y cocina | Dormitorio 1 y 2 | Living-comedor | Techo |
|---------|---|---|---|-------|
| Horario | 05:00-10:00 100% 10:00-17:00 50% 17:00-23:00 100% 23:00-24:00 50% 24:00-05:00 50% | 09:00-20:00 50% 20:00-24:00 100% 24:00-09:00 100% | 04:00-10:00 100% 10:00-16:00 50% 16:00-22:00 100% 22:00-24:00 50% 24:00-04:00 50% | - |

Se considera ventilación natural de todos los recintos (menos el techo), es decir, las cantidades de renovación de aire por hora de cada zona de la vivienda, que fueron obtenidas de la norma NCh1960.Of89 (Aislación térmica – Cálculo de coeficientes volumétricos globales de pérdidas térmicas), asociados a los distintos recintos de la vivienda, tal como se observa en el Cuadro 101. Los horarios son los recomendados por el programa:

Cuadro 101: Renovaciones de aire por hora consideradas en el Software.

| Recinto | Renovaciones de aire/hora |
|-----------------|---------------------------|
| Baño | 8 |
| Cocina | 4 |
| D-E-C y pasillo | 1,5 |

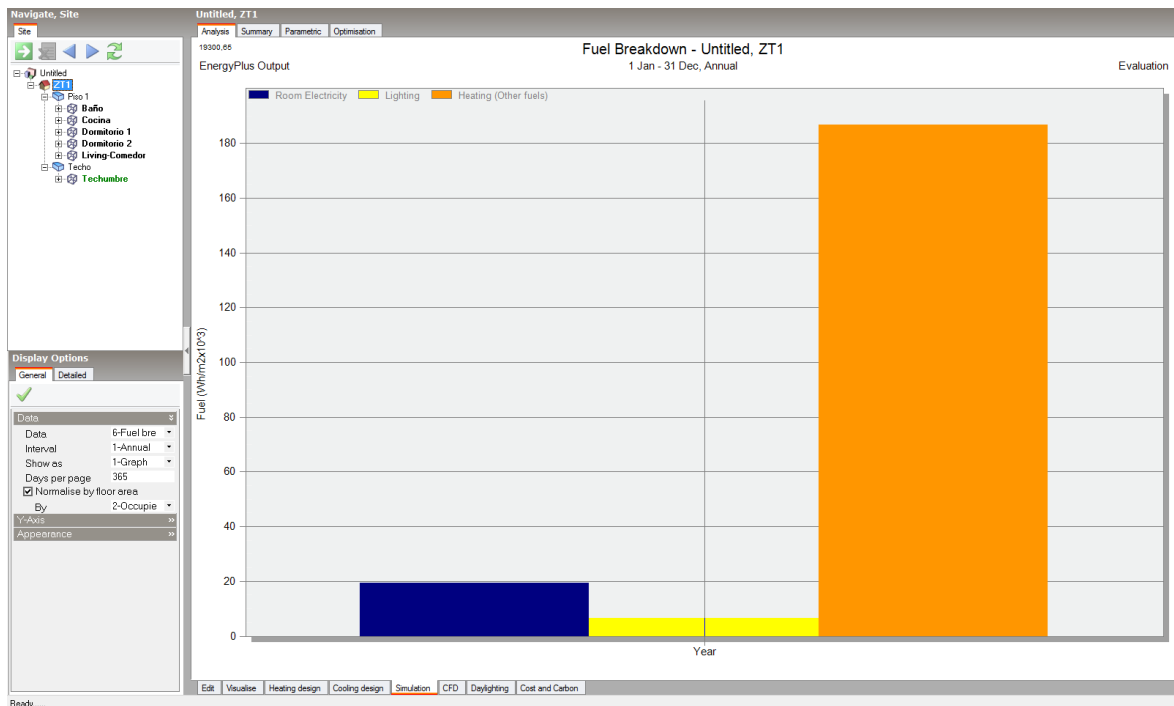
Ilustración 28: Pestaña *Location* de vivienda en ZT1 del programa *DesignBuilder*.



Para cada localidad considerada, se despliega información geográfica considerada por el programa, además de información meteorológica correspondiente. En las situaciones en que el clima de la localidad analizada no se encuentra en el repertorio de datos del programa (Iquique, Ovalle, Temuco y Puerto Montt), se consiguen mediante comunicación personal [40].

Para el caso de los datos climáticos de Ovalle, se ingresan manualmente los grados-día anuales de la localidad (Cuadro 37) en el programa, ingresando a *tools>hourly weather data>modify* en la sección *set degree days, heating*.

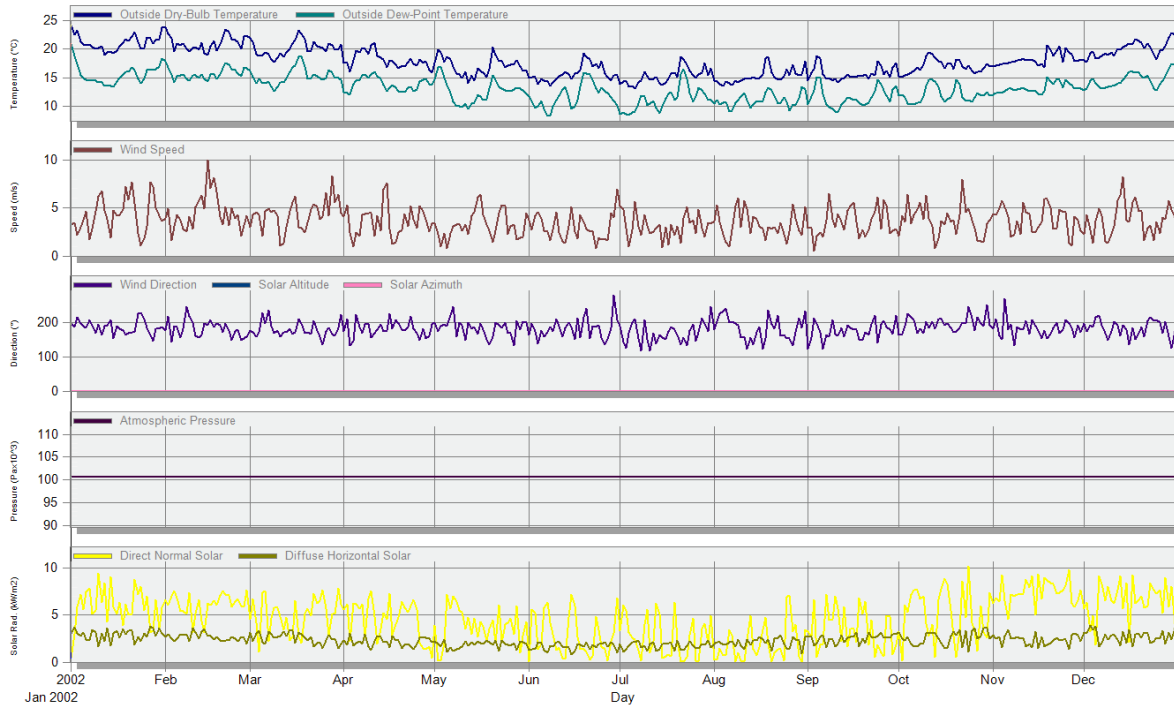
Ilustración 29: Simulación energética ZT1, valores entregados por programa.



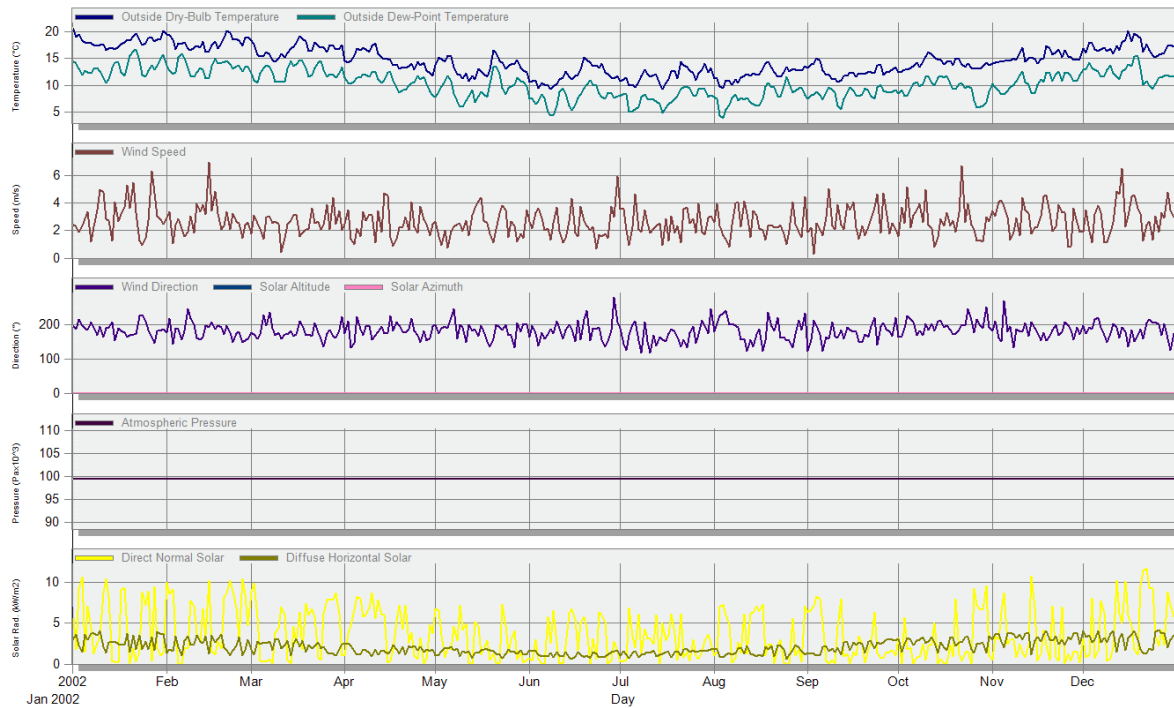
La Ilustración 29 muestra una simulación energética de la vivienda en la ZT1, para el caso de calefacción a leña, donde se puede destacar que los valores de demanda energética (barra naranja) se encuentran normalizados por unidad de superficie de la vivienda (*occupied floor area*).

B.4 Datos climáticos utilizados

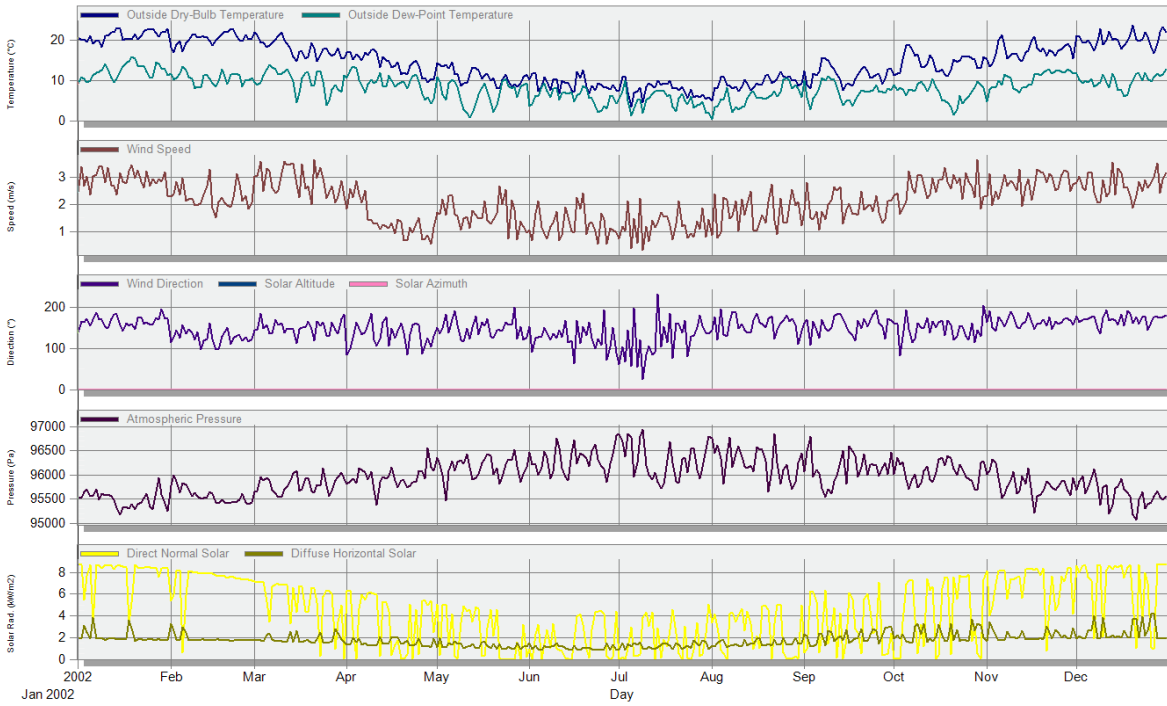
Cuadro 102: Datos climáticos ZT1 de *DesignBuilder*.



Cuadro 103: Datos climáticos ZT2 de *DesignBuilder*.



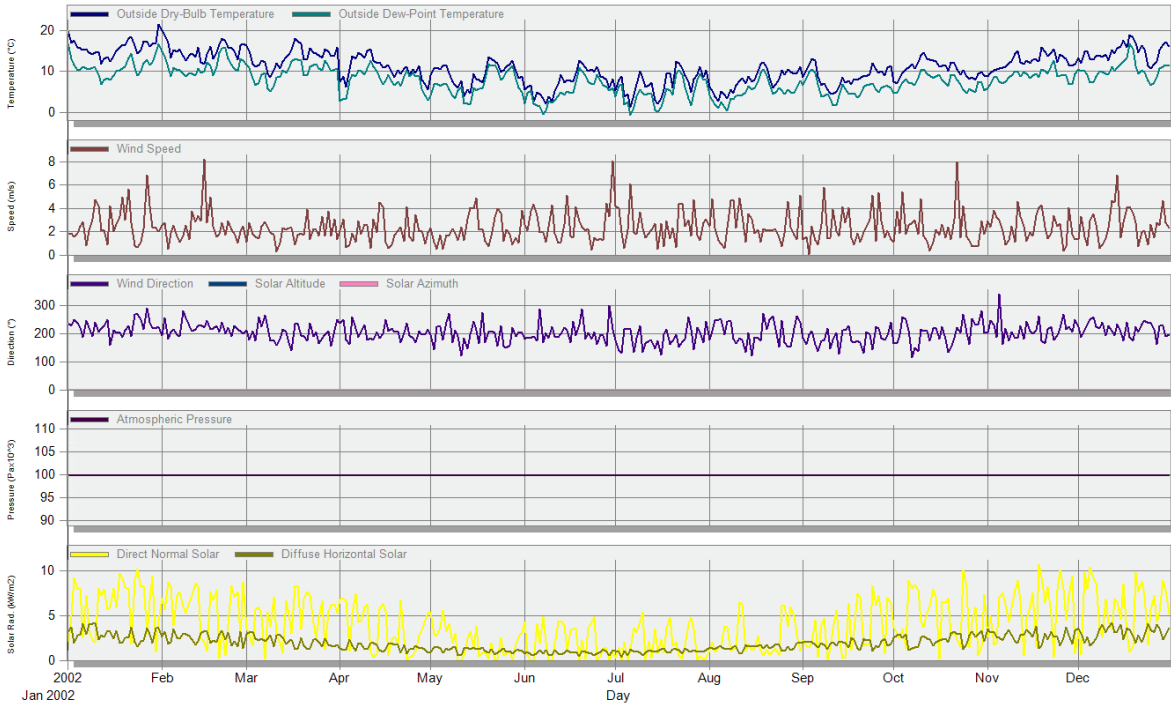
Cuadro 104: Datos climáticos ZT3 de DesignBuilder.



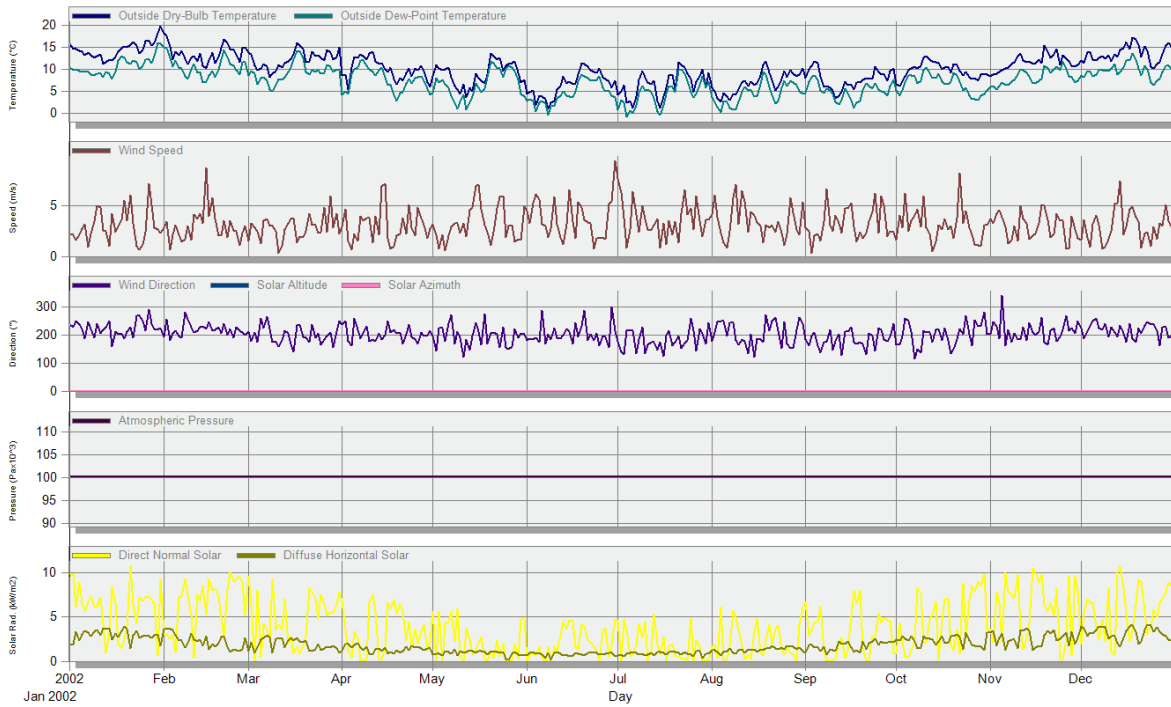
Cuadro 105: Datos climáticos ZT4 de DesignBuilder.



Cuadro 106: Datos climáticos ZT5 de DesignBuilder.



Cuadro 107: Datos climáticos ZT6 de DesignBuilder.



Cuadro 108: Datos climáticos ZT7 de DesignBuilder.



Anexo C

Radiación global mensual y anual, perteneciente al Registro Solarimétrico de Chile para las localidades utilizadas.

Cuadro 109: Radiación mensual [MJ/m²] de Iquique, latitud 20,22° S.

| Azimut | Inclinación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 180 N | 90 | 210,5 | 220,2 | 291,3 | 329,4 | 335,5 | 298,6 | 270 | 267 | 252,1 | 231,9 | 200,8 | 211,7 | 3119 |
| 150 | 90 | 318,1 | 323,6 | 353,3 | 328,3 | 295,6 | 272,2 | 246 | 246,8 | 274,3 | 306,3 | 303 | 296,9 | 3564,4 |
| 120 | 90 | 491,4 | 463,6 | 429,4 | 346,8 | 282 | 229,2 | 220,6 | 257,2 | 311,4 | 389,7 | 436 | 502,9 | 4360,2 |
| 90 E y O | 90 | 566,9 | 541,9 | 394,8 | 329,1 | 278,1 | 232,2 | 220,6 | 248,9 | 292,6 | 409,9 | 509,7 | 576,1 | 4600,8 |
| 0 S | 90 | 234,5 | 234,2 | 183 | 151,1 | 130,6 | 112,7 | 117,4 | 137,4 | 160,8 | 209,1 | 236,8 | 211,7 | 2119,3 |

Fuente: Registro Solarimétrico, tabla B4.

Cuadro 110: Radiación mensual [MJ/m²] de Ovalle, latitud 30,57° S.

| Azimut | Inclinación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 180 N | 90 | 266,4 | 272,2 | 353 | 343,6 | 336,7 | 309 | 296,9 | 326,9 | 303,1 | 302,7 | 259,9 | 258,9 | 3629,3 |
| 150 | 90 | 388,2 | 357,7 | 396,8 | 303,9 | 272,1 | 257,2 | 245,9 | 272,5 | 314,9 | 375,2 | 363,7 | 289,9 | 3838 |
| 120 | 90 | 495,2 | 436,1 | 420,9 | 306,8 | 252,5 | 213,1 | 216,3 | 272,5 | 320,1 | 441,2 | 453,8 | 499 | 4327,5 |
| 90 E y O | 90 | 588,1 | 542,9 | 426,4 | 300,3 | 258,7 | 218,9 | 220,7 | 270,3 | 308,1 | 531,5 | 542,7 | 586,5 | 4795,1 |
| 0 S | 90 | 315,2 | 212,7 | 169,6 | 129,7 | 104,5 | 87,8 | 95,6 | 121 | 149,8 | 198,1 | 280,1 | 336 | 2200,1 |

Fuente: Registro Solarimétrico, tabla B24.

Cuadro 111: Radiación mensual [MJ/m²] de Santiago (Pudahuel), latitud 33,38° S.

| Azimut | Inclinación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 180 N | 90 | 267,2 | 263,8 | 329,1 | 307 | 230,2 | 190,4 | 233,3 | 315,7 | 291,7 | 275,1 | 260,8 | 260,8 | 3225,1 |
| 150 | 90 | 389,4 | 342 | 368,3 | 272,7 | 191,2 | 162,7 | 195,5 | 262,6 | 303 | 332,3 | 366,3 | 292,5 | 3478,5 |
| 120 | 90 | 496,9 | 413,8 | 389,8 | 275,2 | 179,4 | 139,1 | 173,6 | 262,6 | 308 | 384,4 | 457,9 | 506,2 | 3986,9 |
| 90 E y O | 90 | 589,8 | 511,6 | 394,7 | 269,6 | 183,1 | 142,2 | 176,9 | 260,4 | 296,4 | 455,7 | 548,2 | 595,6 | 4424,2 |
| 0 S | 90 | 316,1 | 209,3 | 165,3 | 122,2 | 90,1 | 72,2 | 84,4 | 114,4 | 144,7 | 192,5 | 281,3 | 339,6 | 2132,1 |

Fuente: Registro Solarimétrico, tabla B34.

Cuadro 112: Radiación mensual [MJ/m²] de Concepción, latitud 36,83° S.

| Azimut | Inclinación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 180 N | 90 | 328 | 315,9 | 378,1 | 353,2 | 272,3 | 190,2 | 251,3 | 325,2 | 337,7 | 334,2 | 308,4 | 314,1 | 3708,6 |
| 150 | 90 | 435,5 | 388,8 | 380,2 | 293,6 | 233,5 | 171,2 | 220,4 | 268,1 | 314,9 | 384,9 | 399,2 | 407,8 | 3898,1 |
| 120 | 90 | 573,6 | 492,4 | 475,7 | 294,9 | 187,6 | 124,1 | 166,1 | 244 | 377,3 | 480 | 514,5 | 536,8 | 4467 |
| 90 E y O | 90 | 581,8 | 504,3 | 408,4 | 280,7 | 199,9 | 135,3 | 179,4 | 249,2 | 302,5 | 495,1 | 521,7 | 544,3 | 4402,6 |
| 0 S | 90 | 309,8 | 193,9 | 159,2 | 114 | 81,7 | 60 | 73,3 | 103,3 | 138 | 184,2 | 265,4 | 327,4 | 2010,2 |

Fuente: Registro Solarimétrico, tabla B54.

Cuadro 113: Radiación mensual [MJ/m²] de Puerto Saavedra, latitud 38,77° S.

| Azimut | Inclinación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 180 N | 90 | 278,1 | 232,9 | 261,1 | 197,6 | 112 | 78,2 | 83,9 | 133 | 180,8 | 242,6 | 279,2 | 287,6 | 2367 |
| 150 | 90 | 343,6 | 269,7 | 262,2 | 171,5 | 100,2 | 72,3 | 76,8 | 116,9 | 172,4 | 269,3 | 348,2 | 357,9 | 2561 |
| 120 | 90 | 427,8 | 322,2 | 313,8 | 172 | 86,3 | 57,6 | 64,3 | 110,1 | 195,4 | 319,3 | 435,8 | 454,7 | 2959,3 |
| 90 E y O | 90 | 432,8 | 328,2 | 277,4 | 165,8 | 89,7 | 61,1 | 67,3 | 111,5 | 167,8 | 327,3 | 441,3 | 460,3 | 2930,5 |
| 0 S | 90 | 267 | 171,2 | 143 | 92,7 | 54,2 | 37,8 | 42,9 | 70,2 | 107,1 | 163,7 | 246,6 | 297,5 | 1693,9 |

Fuente: Registro Solarimétrico, tabla B59.

Cuadro 114: Radiación mensual [MJ/m²] de Lago Chapo, latitud 41,43° S.

| Azimut | Inclinación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 180 N | 90 | 258,3 | 248,3 | 260,1 | 219,7 | 121,6 | 105 | 113,9 | 159,9 | 202 | 224 | 233,7 | 262 | 2408,5 |
| 150 | 90 | 312,1 | 291,5 | 261,3 | 188,1 | 107,8 | 95,7 | 102,4 | 137,9 | 191,6 | 247,1 | 277,4 | 315,5 | 2528,4 |
| 120 | 90 | 381,3 | 353 | 313,8 | 188,8 | 91,5 | 72,7 | 82,3 | 128,6 | 220,1 | 290,5 | 332,9 | 389,3 | 2844,8 |
| 90 E y O | 90 | 385,4 | 360 | 276,8 | 181,3 | 95,5 | 78,2 | 87,2 | 130,6 | 185,9 | 297,4 | 336,4 | 393,6 | 2808,3 |
| 0 S | 90 | 249,2 | 175,9 | 139,7 | 93,1 | 53,9 | 41,5 | 47,9 | 74,3 | 110,8 | 155,6 | 213 | 269,6 | 1624,5 |

Fuente: Registro Solarimétrico, tabla B63.

Cuadro 115: Radiación mensual [MJ/m²] de Punta Arenas, latitud 53° S.

| Azimut | Inclinación | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ANUAL |
|----------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 180 N | 90 | 309,4 | 271,4 | 280,7 | 213,3 | 152,7 | 85 | 113,8 | 181,2 | 237,5 | 266,8 | 317,5 | 314,5 | 2743,8 |
| 150 | 90 | 372,4 | 312,6 | 261,4 | 177,8 | 127,9 | 73,6 | 95,8 | 153,9 | 208,7 | 286,1 | 384,6 | 377,2 | 2832 |
| 120 | 90 | 413,5 | 335,5 | 301,3 | 174,2 | 97,1 | 52,1 | 71,6 | 130,1 | 241,2 | 313,1 | 425 | 425 | 2979,7 |
| 90 E y O | 90 | 426,4 | 348,2 | 275,6 | 160,7 | 81,5 | 39,7 | 54,2 | 129,4 | 200,5 | 327,6 | 439,1 | 439 | 2921,9 |
| 0 S | 90 | 259,9 | 160,1 | 118,2 | 66,6 | 36,4 | 20,9 | 28,2 | 54,2 | 94,7 | 147,3 | 235,7 | 293 | 1515,2 |

Fuente: Registro Solarimétrico, tabla B72.

Anexo D

D.1 Factor de emisión de Sistema Eléctrico de Magallanes

A falta de estudios al respecto de los sistemas eléctricos tanto de Aysén como de Magallanes por parte del Ministerio de Energía, se procede a calcular el factor de emisión de este último, con una metodología similar al SIC y al SING, para el año 2013.

En el sistema eléctrico de Magallanes opera una sola empresa llamada Edelmag S.A., quien desarrolla las actividades de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, atendiendo un total cercano a 50.000 clientes. Se subdivide en 4 subsistemas: Porvenir, Puerto Natales, Puerto Williams y Punta Arenas.

D.1.1 Subsistema Eléctrico Porvenir

La energía producida (EP) por este subsistema eléctrico aparece en el Cuadro 116, para el año 2013, información proporcionada por la empresa Edelmag S.A.

Cuadro 116: Energía en alimentadores real en Porvenir, año 2013.

| Mes | EP [MWh] |
|------------|----------|
| Enero | 1759,1 |
| Febrero | 1834,49 |
| Marzo | 2000,66 |
| Abril | 2123,72 |
| Mayo | 1863,34 |
| Junio | 1728,23 |
| Julio | 1800,06 |
| Agosto | 1862,88 |
| Septiembre | 1671,52 |
| Octubre | 1882,79 |
| Noviembre | 1817,73 |
| Diciembre | 1600,86 |
| TOTAL | 21945,38 |

Fuente: Información técnica sistema eléctrico Porvenir, Edelmag.

En el Cuadro 117 aparecen los factores de emisión de los combustibles utilizados por las centrales del sistema de Magallanes, gas natural (GN) y diesel (DSL).

Cuadro 117: Factores de emisión asociados a combustibles utilizados.

| Combustible | FE _{comb} [Ton CO ₂ /MWh] |
|-------------|---|
| GN | 0,195 |
| DSL | 0,261 |

Fuente: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, CHAPTER 1, Table 1.4 (lower limit of the 95% confidence intervals).

En el Cuadro 118 aparecen las distintas eficiencias de los combustibles utilizados para plantas de energía. Se consideran plantas de tipo turbina de vapor para este sistema. De acuerdo con “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*”, versión 02, se consideran plantas de energía nuevas las cuales han sido construidas después del año 2000, y viejas a las plantas construidas antes de este año, incluyéndolo.

Cuadro 118: Factores de eficiencia para plantas de energía.

| Power plant fuel | η_{comb} |
|-----------------------------------|---------------|
| Oil (Open cycle, new) | 39,5% |
| Oil (Combined cycle, old) | 46,0% |
| Oil (Combined cycle, new) | 46,0% |
| Oil (Steam turbine, old) | 37,5% |
| Oil (Steam turbine, new) | 39,0% |
| Gas Natural (Combined cycle, old) | 46,0% |
| Gas Natural (Combined cycle, new) | 60,0% |
| Gas Natural (Steam turbine, old) | 37,5% |
| Gas Natural (Steam turbine, new) | 37,5% |
| Gas Natural (open cycle, old) | 30,0% |
| Gas Natural (open cycle, new) | 39,5% |
| Coal (Subcritical, old) | 37,0% |
| Coal (Subcritical, new) | 39,0% |

Fuente: Annex I, “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*”, Version 02.

La potencia de las centrales es proporcionada por Edelmag S.A., mientras que la energía producida por cada una de éstas es calculada ponderando la energía total producida por el subsistema por su potencia dividida por la potencia total del

subsistema eléctrico. Con esto, se obtiene el Cuadro 119 en donde aparecen cálculos y características del subsistema eléctrico de Porvenir.

Cuadro 119: Cálculos y características del Subsistema Eléctrico Porvenir.

| Central | Potencia [MW] | EP _i [MWh] | Inicio operación | Tipo | FE _i [Ton CO ₂ /MWh] | EP _i *FE _i [Ton CO ₂] |
|-----------------------|---------------|-----------------------|------------------|------|--|---|
| WAUKESHA VHP7042GSI | 0,875 | 2.449,26 | 1.983 | GN | 0,5200 | 1.273,62 |
| CATERPILLAR 3512 DITA | 0,92 | 2.575,22 | 2.000 | DSL | 0,6692 | 1.723,42 |
| WAUKESHA VHP9390GSI | 1,175 | 3.289,01 | 2.003 | GN | 0,5200 | 1.710,28 |
| WAUKESHA VHP9390GSI | 1,175 | 3.289,01 | 2.003 | GN | 0,5200 | 1.710,28 |
| PALMERO PERKINS | 1,36 | 3.806,85 | 2.008 | DSL | 0,6692 | 2.547,66 |
| CATERPILLAR 3516G | 0,92 | 2.575,22 | 2.000 | GN | 0,5200 | 1.339,12 |
| JENBACHER JGS420 | 1,415 | 3.960,81 | 2.008 | GN | 0,5200 | 2.059,62 |
| TOTAL | 7,84 | | | | TOTAL | 12364,00 |

D.1.2 Subsistema Eléctrico Puerto Natales

Análogamente, se muestra en el Cuadro 120 la energía producida por el subsistema eléctrico de Puerto Natales, para el año 2013.

Cuadro 120: Energía en alimentadores real en Puerto Natales, año 2013.

| Mes | EP [MWh] |
|------------|----------|
| Enero | 2126,28 |
| Febrero | 2073,88 |
| Marzo | 2530,4 |
| Abril | 2597,5 |
| Mayo | 2630,33 |
| Junio | 2539,85 |
| Julio | 2393,31 |
| Agosto | 2581,62 |
| Septiembre | 2279,35 |
| Octubre | 2544,92 |
| Noviembre | 2438,08 |
| Diciembre | 2494,61 |
| TOTAL | 29230,13 |

Fuente: Información técnica sistema eléctrico Porvenir, Edelmag.

En el Cuadro 121 aparecen cálculos y características del subsistema eléctrico de Puerto Natales.

Cuadro 121: Cálculos y características del Subsistema Eléctrico Puerto Natales.

| Central | Potencia [MW] | EP _i [MWh] | Inicio operación | Tipo | FE _i [Ton CO ₂ /MWh] | EP _i *FE _i [Ton CO ₂] |
|-----------------------|---------------|-----------------------|------------------|----------|--|---|
| FAIRBANK MORSE 32 E14 | 0,3 | 881,75 | 1.961 | DSL | 0,6960 | 613,70 |
| WAUKESHA VHP9390GSI | 1,175 | 3.453,53 | 2.003 | GN | 0,5200 | 1.795,84 |
| SOLAR SATURNO | 0,8 | 2.351,34 | 1.977 | GN y DSL | 0,6080 | 1.429,62 |
| SOLAR SATURNO | 0,8 | 2.351,34 | 1.977 | GN y DSL | 0,6080 | 1.429,62 |
| CATERPILLAR 3516 | 1,5 | 4.408,77 | 2.001 | DSL | 0,6692 | 2.950,48 |
| WAUKESHA VHP9390GSI | 1,175 | 3.453,53 | 2.003 | GN | 0,5200 | 1.795,84 |
| JENBACHER JGS420 | 1,42 | 4.173,63 | 2.008 | GN | 0,5200 | 2.170,29 |
| PALMERO PERKINS | 1,36 | 3.997,28 | 2.008 | DSL | 0,6692 | 2.675,10 |
| JENBACHER JGS420 | 1,415 | 4.158,94 | 2.008 | GN | 0,5200 | 2.162,65 |
| TOTAL | 9,945 | | | | TOTAL | 17.023,13 |

D.1.3 Subsistema Eléctrico Puerto Williams

Se muestra en el Cuadro 122 la energía producida por el subsistema eléctrico de Puerto Williams, para el año 2013.

Cuadro 122: Energía en alimentadores real en Puerto Williams, año 2013.

| Mes | EP [MWh] |
|------------|----------|
| Enero | 224,78 |
| Febrero | 240,51 |
| Marzo | 328,51 |
| Abril | 323,89 |
| Mayo | 336,14 |
| Junio | 335,65 |
| Julio | 344,26 |
| Agosto | 367,22 |
| Septiembre | 331,69 |
| Octubre | 343,14 |
| Noviembre | 312,41 |
| Diciembre | 270,9 |
| TOTAL | 3759,1 |

Fuente: Información técnica sistema eléctrico Porvenir, Edelmag.

En el Cuadro 123 aparecen cálculos y características del subsistema eléctrico de Puerto Williams.

Cuadro 123: Cálculos y características del Subsistema Eléctrico Puerto Williams.

| Central | Potencia [MW] | EP _i [MWh] | Inicio operación | Tipo | FE _i [Ton CO ₂ /MWh] | EP _i *FE _i [Ton CO ₂] |
|-------------------|---------------|-----------------------|------------------|------|--|---|
| CATERPILLAR 3508B | 0,59 | 851,72 | 2.004 | DSL | 0,6692 | 569,99 |
| CATERPILLAR C-32 | 0,8 | 1.154,87 | 2.000 | DSL | 0,6692 | 772,87 |
| CATERPILLAR C-18 | 0,508 | 733,34 | 1.993 | DSL | 0,6960 | 510,41 |
| CUMMINS PETBOW | 0,25 | 360,90 | 2.007 | DSL | 0,6692 | 241,52 |
| TOTAL | 2,604 | | | | TOTAL | 2.094,80 |

D.1.4 Subsistema Eléctrico Punta Arenas

D.1.4.1 Central Tres Puentes

Se muestra en el Cuadro 124 la energía producida por el subsistema eléctrico de Punta Arenas, central Tres Puentes, para el año 2013.

Cuadro 124: Energía en alimentadores real en Punta Arenas (Tres Puentes), año 2013.

| Mes | EP [MWh] |
|------------|----------|
| Enero | 6702,3 |
| Febrero | 6079,68 |
| Marzo | 7648,42 |
| Abril | 7666,79 |
| Mayo | 7752,61 |
| Junio | 7724,99 |
| Julio | 7762,98 |
| Agosto | 7648,77 |
| Septiembre | 6626,97 |
| Octubre | 6821,87 |
| Noviembre | 6358,9 |
| Diciembre | 6165,35 |
| TOTAL | 84959,63 |

Fuente: Información técnica sistema eléctrico Porvenir, Edelmag.

En el Cuadro 125 aparecen cálculos y características del subsistema eléctrico de Punta Arenas, central Tres Puentes.

Cuadro 125: Cálculos y características del Subsistema Eléctrico Punta Arenas (Tres Puentes).

| Central | Potencia [MW] | EP _i [MWh] | Inicio operación | Tipo | FE _i [Ton CO ₂ /MWh] | EP _i *FE _i [Ton CO ₂] |
|------------------------|---------------|-----------------------|------------------|----------|--|---|
| HITACHI | 24 | 25.797,46 | 1.984 | GN | 0,5200 | 13.414,68 |
| CATERPILLAR 3516-TA | 1,46 | 1.569,35 | 2.001 | DSL | 0,6692 | 1.050,25 |
| CATERPILLAR 3516-TA | 1,46 | 1.569,35 | 2.001 | DSL | 0,6692 | 1.050,25 |
| SOLAR MARS | 10 | 10.748,94 | 1.997 | GN | 0,5200 | 5.589,45 |
| CATERPILLAR G3612 | 2,72 | 2.923,71 | 1.997 | GN | 0,5200 | 1.520,33 |
| SOLAR TITAN | 13,7 | 14.726,05 | 2.003 | GN y DSL | 0,5961 | 8.777,88 |
| GENERAL ELECTRIC GE-10 | 10,7 | 11.501,37 | 2.007 | GN y DSL | 0,5961 | 6.855,72 |
| SOLAR TITAN | 15 | 16.123,41 | 2.008 | GN y DSL | 0,5961 | 9.610,82 |
| TOTAL | 79,04 | | | | TOTAL | 47.869,38 |

D.1.4.2 Central Punta Arenas

Se muestra en el Cuadro 126 la energía producida por el subsistema eléctrico de Punta Arenas, central Punta Arenas, para el año 2013.

Cuadro 126: Energía en alimentadores real en Punta Arenas (Punta Arenas), año 2013.

| Mes | EP [MWh] |
|------------|-----------|
| Enero | 10672,39 |
| Febrero | 9773,19 |
| Marzo | 11262,05 |
| Abril | 11984,94 |
| Mayo | 12905,59 |
| Junio | 12904,93 |
| Julio | 13191,71 |
| Agosto | 13057,96 |
| Septiembre | 11641,5 |
| Octubre | 11888,75 |
| Noviembre | 11234,4 |
| Diciembre | 11406,42 |
| TOTAL | 141923,83 |

Fuente: Información técnica sistema eléctrico Porvenir, Edelmag.

En el Cuadro 127 aparecen cálculos y características del subsistema eléctrico de Punta Arenas, central Punta Arenas.

Cuadro 127: Cálculos y características del Subsistema Eléctrico Punta Arenas (Punta Arenas).

| Central | Potencia [MW] | EP _i [MWh] | Inicio operación | Tipo | FE _i [Ton CO ₂ /MWh] | EP _i *FE _i [Ton CO ₂] |
|---------|---------------|-----------------------|------------------|------|--|---|
| SULZER | 1,4 | 47.307,94 | 1.958 | DSL | 0,696 | 32.926,33 |
| SULZER | 1,4 | 47.307,94 | 1.958 | DSL | 0,696 | 32.926,33 |
| SULZER | 1,4 | 47.307,94 | 1.962 | DSL | 0,696 | 32.926,33 |
| TOTAL | 4,2 | | | | TOTAL | 98.778,99 |